



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

ANALÝZA DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV SE ZAMĚŘENÍM NA SVĚTELNOU REFLEKTANCI A UMÍSTĚNÍ VENKOVNÍCH PŘEKÁŽEK

DAYLIGHTING ANALYSIS OF OBSTRUCTED BUILDINGS WITH FOCUS ON LIGHT
REFLECTANCE AND LOCATION OF EXTERNAL OBSTRUCTIONS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. et Ing. Lenka Gábrová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL ČUPR, CSc.

BRNO 2020

ABSTRAKT

Dizertační práce se zabývá analýzou denního osvětlení zastíněných budov z hlediska umístění venkovních překážek a světelné reflektance venkovních povrchů. Pro statické a dynamické simulace denního osvětlení byl použit program Daysim 3.1b. Dizertační práce obsahuje validaci programu Daysim 3.1b z hlediska stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze. Validace byla provedena pomocí metodiky CIE 171: 2006, měření denního osvětlení na modelu a měření in-situ. Pro analýzu denního osvětlení bylo uvažováno s místností stíněnou řadovou zástavbou, průběžným balkonem nad oknem a stěnami vnitrobloku. Pro venkovní povrchy bylo navrženo šest kombinací činitelů odrazu světla. Analýza denního osvětlení místnosti je provedena pomocí činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany a pomocí kritérií určujících množství denního světla v místnosti. Kvantum denního světla uvnitř místnosti je hodnoceno pomocí činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze a pomocí osvětleností stanovených na základě ročních klimatických dat pro Prahu. V dizertační práci jsou sestaveny diagramy a regresní modely závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na kritériu popisujícím stínící překážku (tj. úhel stínění nebo index atria). Pro hodnocenou místnost byly sestaveny také regresní modely závislosti kritérií popisujících kvantum denního osvětlení v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w . Na základě provedené analýzy denního osvětlení zastíněných budov jsou navrženy tři návrhy na úpravu hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.

KLÍČOVÁ SLOVA

denní osvětlení zastíněných budov, Daysim, dynamické simulace denního osvětlení

ABSTRACT

The doctoral thesis deals with a daylighting analysis of obstructed buildings in term of external obstacles location and the light reflectance of external surfaces. Static and dynamic daylight simulations were carried out using the software Daysim 3.1b. The doctoral thesis includes the validation of the software Daysim 3.1b for the daylight factor under the conditions of the CIE standard overcast sky model. The validation was performed using the Technical Report CIE 171: 2006, model measurements and in-situ measurements. For the comparative analysis of daylighting, a room obstructed by a row building, a continuous balcony and atrium walls was assumed. The external surfaces were designed with six light reflectance combinations. The daylight factor D_w on the window glazing from the external side and criteria determining the daylight amount inside the room were used for the daylighting analysis. The daylight amount is evaluated using the daylight factor under the CIE standard overcast sky model and using the daylight illuminance calculated based on the annual climate data for Prague. In the doctoral thesis, graphs and the regression models estimating the daylight factor D_w depending on an obstruction angle or a well index were built. Furthermore, regression models describing the relationship between the daylight factor and the daylight amount in the interior were also built. Based on the daylighting analysis of the obstructed buildings, three proposals to change the evaluation of the daylight accessibility on a façade were formulated.

KEY WORDS

daylighting of obstructed buildings, Daysim, dynamic daylight simulations

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. et Ing. Lenka Gábrová *Analýza denního osvětlení zastíněných budov se zaměřením na světelnou reflektanci a umístění venkovních překážek*. Brno, 2020. 275 s., příl. CD. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Karel Čupr, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané disertační práce s názvem *Analýza denního osvětlení zastíněných budov se zaměřením na světelnou reflektanci a umístění venkovních překážek* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 29. 1. 2020

Ing. et Ing. Lenka Gábrová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem *Analýza denního osvětlení zastíněných budov se zaměřením na světelnou reflektanci a umístění venkovních překážek* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 1. 2020

Ing. et Ing. Lenka Gábrová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Svému školiteli Ing. Karlu Čuprovi, CSc. děkuji za cenné odborné rady a náměty, podnětné a konstruktivní konzultace, trpělivost a podporu nejen při vedení dizertační práce, ale i obou mých diplomových prací. Ústavu pozemního stavitelství a zejména kolegům Ing. Františku Vajkayovi, Ph.D., Ing. Davidovi Bečkovskému, Ph.D. a doc. Ing. Milanovi Ostrému, Ph.D. děkuji za zajištění přístrojů pro měření. Ing. Františku Vajkayovi, Ph.D. děkuji také za odborné konzultace a účast v řešitelském týmu projektu Monitorování jasu v interiéru a exteriéru budovy fotometrickou metodou (FAST-S-16-3691). Poděkování patří také kolegyni Mgr. Jolaně Tlukové, Ph.D. za dlouholetou spolupráci v oblasti odborné angličtiny a zapojení do řešení projektu Sestavení elektronického glosáře odborných termínů a jejich anglických ekvivalentů (FAST-S-14-2231). Kamarádům a kolegům zvláště Ing. et Ing. Michaele Hláskové, Ing. Lukáši Chuchmovi a Ing. Peteru Hartmanovi, PhD. děkuji mimo jiné za spolupráci při měřeních. Svým rodičům děkuji za pomoc při výrobě modelu, zajištění měření ve Žďáru nad Sázavou a také motivaci ke studiu. V neposlední řadě děkuji svému příteli za pochopení a podporu v průběhu zpracování dizertační práce.

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Rešerše současného stavu problematiky	12
2.1	Světlo	12
2.1.1	Standardní fotometrický pozorovatel.....	12
2.2	Fotometrické veličiny	13
2.2.1	Světelný tok	13
2.2.2	Svítilivost	14
2.2.3	Jas	15
2.2.4	Osvětlenost	16
2.3	Optické vlastnosti předmětů a prostředí	19
2.3.1	Odraz světla	19
2.3.2	Prostup světla.....	21
2.3.3	Pohlčení světla	23
2.4	Denní světlo	23
2.5	Denní osvětlení v budovách.....	24
2.5.1	Stanovení kvanta denního světla pomocí činitele denní osvětlenosti	24
2.5.2	Stanovení kvanta denního světla pomocí kritérií založených na klimatických datech	26
2.5.3	Přístup světla k průčelí budovy.....	29
2.5.4	Požadavky na kvantum denního světla uvnitř místností.....	40
2.5.5	Stanovení kvanta denního světla výpočtem	45
2.5.6	Stanovení kvanta denního světla měřením	48
3	Cíle dizertační práce	50
3.1	Důvody volby cílů práce.....	50
3.1.1	Cíl 1: Validování programu Daysim z hlediska stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze s gradací jasu od horizontu k zenitu 1:3	50
3.1.2	Cíl 2: Sestavení diagramů pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany pro vybrané stínící překážky a vybrané hodnoty činitele odrazu světla od překážek a terénu.....	50
3.1.3	Cíl 3: Analýza vlivu rozdílného umístění exteriérových překážek a rozdílné světelné reflektance venkovních povrchů na kvantum denního světla v zastíněné místnosti v závislosti na hodnotách činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany	51
3.1.4	Cíl 4: Návrh doporučení na úpravu hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.....	52
3.2	Prostředky ke splnění cílů práce	52
4	Metodika.....	53
4.1	Provedení literární rešerše	53
4.2	Stanovení charakteristických způsobů zastínění budov.....	53
4.3	Návrh místnosti pro analýzu denního osvětlení budov	54
4.4	Stanovení hodnotících kritérií pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov	55
4.5	Výběr programu pro analýzu denního osvětlení budov	55
4.6	Validace programu Daysim z hlediska činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze.....	56
4.7	Vyhodnocení výsledků měření a simulací činitele denní osvětlenosti zjištěných pro model zastíněné místnosti z hlediska denního osvětlení zastíněných budov	56

4.8	Simulace denního osvětlení za účelem analyzování denního osvětlení uvnitř zastíněné místnosti.....	56
4.9	Sestavení diagramů pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w	56
4.10	Analýza denního osvětlení uvnitř zastíněných místností v závislosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w	57
4.11	Návrh úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.....	57
5	Validování programu Daysim z hlediska činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze	58
5.1	Parametry výpočtu	58
5.2	Kritéria pro validování programu Daysim z hlediska činitele denní osvětlenosti.....	58
5.3	Validování programu Daysim z hlediska stanovení činitele denní osvětlenosti dle vybraných testových situací metodiky CIE 171: 2006	61
5.3.1	Metodika CIE 171: 2006.....	61
5.3.2	Validování programu Daysim pro výpočet činitele denní osvětlenosti dle metodiky CIE 171: 2006	62
5.3.3	Shrnutí validování programu Daysim dle metodiky CIE 171: 2006.....	90
5.4	Validování programu Daysim z hlediska stanovení činitele denní osvětlenosti pomocí měření na modelu.....	94
5.4.1	Konstrukce modelu	94
5.4.2	Stanovení charakteristických způsobů zastínění, parametry stínících překážek.....	96
5.4.3	Místnost pro stanovení osvětleností uvnitř modelu.....	99
5.4.4	Měření jasů oblohy a denních osvětleností pro stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze	100
5.4.5	Výpočet hodnot činitele denní osvětlenosti v programu Daysim.....	103
5.4.6	Referenční a porovnávané hodnoty činitele denní osvětlenosti	103
5.4.7	Porovnání a vyhodnocení výpočtem stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti s referenčními hodnotami zjištěnými pomocí měření na modelu	104
5.4.8	Shrnutí validování programu Daysim pomocí měření na modelu	117
5.5	Validování programu Daysim z hlediska stanovení činitele denní osvětlenosti pomocí měření in-situ	121
5.5.1	Metodika měření in-situ společná pro měření ve Žďáru nad Sázavou i v Brně.....	121
5.5.2	Měření in-situ: Místnost ve Žďáru nad Sázavou.....	124
5.5.3	Měření in-situ: Kancelář v Brně.....	136
5.5.4	Shrnutí validování programu Daysim pomocí měření in-situ	147
5.6	Shrnutí validování programu Daysim	149
6	Poznatky vyplývající z měření na modelu pro denní osvětlení zastíněných budov	150
6.1	Vliv činitele odrazu světla od venkovních povrchů na hodnoty činitele denní osvětlenosti z hlediska vyhodnocení dle českých norem	150
6.2	Vliv umístění venkovní překážky na hodnoty činitele denní osvětlenosti z hlediska vyhodnocení dle českých norem	152
6.3	Shrnutí.....	154
7	Analýza denního osvětlení zastíněných budov	155
7.1	Stanovení charakteristických způsobů zastínění	155
7.2	Návrh místností pro analyzování denního osvětlení uvnitř zastíněných budov	160

7.3	Hodnotící kritéria.....	161
7.4	Simulace denního osvětlení	163
7.5	Výsledky simulací denního osvětlení pro navržené modely zastínění	165
7.6	Závislost činitele denní osvětlenosti D_w na kritériu popisujícím stínění překážkou pro vybrané reflektance venkovních povrchů	166
7.6.1	Diagramy a regresní modely popisující závislost činitele denní osvětlenosti D_w na parametru stínící překážky	166
7.6.2	Činitel denní osvětlenosti D_w při stínění místnosti průběžnou vertikální překážkou před oknem	167
7.6.3	Činitel denní osvětlenosti D_w při stínění místnosti horizontální překážkou nad oknem.....	174
7.6.4	Činitel denní osvětlenosti D_w u čtvercových vnitrobloků.....	177
7.6.5	Shrnutí k závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na kritériu popisujícím stínění překážkou pro vybrané reflektance venkovních povrchů.....	179
7.7	Výběr způsobů zastínění pro analýzu kvanta denního světla uvnitř zastíněné místnosti	186
7.8	Denní osvětlení místnosti stíněné rozdílnými překážkami při shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w	187
7.8.1	Vyhodnocení činitele denní osvětlenosti v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě $D_w \approx 32\%$	196
7.8.2	Vyhodnocení podílu doby s denním světlem, kdy je dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě $D_w \approx 32\%$	200
7.8.3	Vyhodnocení podílu doby s denním světlem, kdy je dosaženo osvětlenosti alespoň 300 lx v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě $D_w \approx 32\%$	202
7.8.4	Shrnutí k dennímu osvětlení v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě činitele denní osvětlenosti hodnotě $D_w \approx 32\%$	204
7.9	Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v prostoru na činiteli denní osvětlenosti D_w	207
7.9.1	Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w u vertikální překážky před oknem hodnocené místnosti	207
7.9.2	Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w u čtvercového vnitrobloku.....	212
7.9.3	Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w u horizontální překážky nad oknem hodnocené místnosti	213
7.9.4	Shrnutí k závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v prostoru na činiteli denní osvětlenosti D_w	214
7.10	Regresní modely závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w	214
7.10.1	Sestavení regresních modelů závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w	214
7.10.2	Ověření použití regresních modelů.....	215
7.10.3	Shrnutí k regresním modelům závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w	222
7.11	Porovnání kvanta denního světla v místnosti stanoveného pomocí činitele denní osvětlenosti a pomocí osvětleností.....	222
7.11.1	Minimální cílová hodnota příspěvku denního světla v prostoru.....	222
7.11.2	Cílová hodnota příspěvku denního světla v prostoru.....	224
7.11.3	Shrnutí k porovnání kvanta denního světla v místnosti stanoveného pomocí činitele denní osvětlenosti a pomocí osvětleností	226
7.12	Shrnutí analýzy denního osvětlení zastíněných budov	228

8	Návrhy úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy	230
8.1	Formulace návrhů	230
8.2	Odůvodnění návrhů.....	232
8.2.1	Vliv reflektance venkovních povrchů na maximální výšku budovy z hlediska přístupu světla k okolním budovám	232
8.2.2	Vliv změny reflektance venkovních povrchů na denní osvětlení zastíněné místnosti	234
8.3	Shrnutí k návrhům úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.....	242
9	Závěr	244
9.1	Validace programu Daysim.....	244
9.1.1	Přínos pro praxi.....	245
9.1.2	Přínos pro vědní obor	245
9.1.3	Možnosti dalšího výzkumu	245
9.2	Analýza denního osvětlení zastíněných budov	245
9.2.1	Přínos pro praxi.....	246
9.2.2	Přínos pro vědní obor	247
9.2.3	Možnosti dalšího výzkumu	247
10	Reference	248
10.1	Právní předpisy, normy a metodiky	248
10.2	Odborné publikace	250
10.3	Citované články autorky dizertační práce	256
10.4	Další zdroje	257
10.5	Počítačové programy.....	257
11	Seznamy symbolů, zkratk, obrázků a tabulek	258
11.1	Seznam použitých symbolů.....	258
11.2	Seznam použitých zkratk.....	264
11.3	Seznam obrázků	265
11.4	Seznam tabulek	270
12	Přílohy	275

1 ÚVOD

Denní osvětlení je jedním z faktorů, které vytváří vnitřní prostředí v budovách. Správný návrh denního osvětlení zabezpečuje zrakovou pohodu, dobré vidění pozorovaných předmětů, zabraňuje nadměrné únavě a lze jím předejít možnosti úrazu v důsledku zhoršeného vidění ([8] čl. 4.1.2). Ačkoliv může dostatečnou osvětlenost interiéru zajistit umělé osvětlení, nelze jím denní osvětlení v budovách nahradit. Kromě zabezpečení vidění má denní světlo pozitivní vliv na psychiku i výkonnost člověka a efektivně stimuluje cirkadiánní rytmy ([46] str. 101; [49] str. 65 – 66; [68]).

Denní osvětlení uvnitř místnosti je ovlivněno jednak parametry samotné místnosti (např. rozměry místnosti, velikost okna, světelně technické vlastnosti vnitřních povrchů a zasklení), ale také parametry venkovních stínících překážek. Stínící překážkou přitom může být jiná stavba i vlastní konstrukce budovy (např. balkon, lodžie, arkýř). Nové místnosti se navrhují tak, aby splňovaly požadavky na denní osvětlení uvnitř místnosti při hodnocení včetně venkovního stínění ([8] čl. A.1). Nově navržená budova může mít také vliv na denní osvětlení stávajících budov ve svém okolí. Dopad nově navržené budovy na denní osvětlení existujících budov přitom ovlivňuje umístění, tvar, výška i barevné a materiálové řešení fasády a střechy novostavby. Pro hodnocení vlivu nově navržených budov na denní osvětlení okolní zástavby neexistuje v mezinárodním měřítku jednotná metodika. V České republice se pro hodnocení přístupu světla k průčelí stávajících budov podle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] používá kritérium činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany, které může být doplněno také o hodnocení denního osvětlení uvnitř zastíněné místnosti. Podle nově přijaté normy ČSN EN 17037 [24] se kvantitativní hodnocení denního osvětlení uvnitř místností může provádět pomocí výpočetní metody s použitím činitele denní osvětlenosti nebo s použitím hladin osvětleností. Zatímco hodnocení pomocí činitele denní osvětlenosti je prováděno pouze při rovnoměrně zatažené obloze, při hodnocení s použitím hladin osvětleností se v místnosti stanovují osvětlenosti v průběhu celého roku za využití dostupných klimatických dat. Hodnoty činitele denní osvětlenosti i hladin osvětleností mohou být stanoveny výpočtem nebo měřením.

Dizertační práce s názvem „*Analýza denního osvětlení zastíněných budov se zaměřením na světelnou reflektanci a umístění venkovních překážek*“ se zabývá vyhodnocením vlivu charakteristických typů stínících překážek na denní osvětlení zastíněných místností. V dizertační práci je denní osvětlení zastíněných místností hodnoceno pomocí činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany a dále uvnitř místnosti pomocí kritérií založených na stanovení činitel denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze a osvětlenosti denním světlem stanovené na základě ročních klimatických dat. Pro charakteristické stínící překážky jsou v dizertační práci sestaveny diagramy pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany pro různé kombinace činitelů odrazu světla od venkovních povrchů. Výpočty činitele denní osvětlenosti a hladin osvětleností byly v dizertační práci provedeny v programu Daysim 3.1b [141], jehož přesnost z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti je v dizertační práci ověřena pomocí metodiky CIE 171: 2006 [6], měření na modelu a měření in-situ. Součástí dizertační práce je také návrh úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.

2 REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

2.1 SVĚTLO

Světlo (světelné záření) představuje pro lidský zrak viditelnou část elektromagnetického záření. V moderní fyzice je světlu připisován duální charakter, což znamená, že není stanovena striktní hranice mezi vlnovým charakterem elektromagnetického záření a zářením korpuskulárním, jehož energie je přenášena fotony ([60] str. 21). Částicový charakter elektromagnetického vlnění se výrazněji projevuje při vyšších frekvencích, zatímco vlnový charakter je více patrný při nižších frekvencích ([88] str. 140).

Složky elektromagnetického záření jsou charakterizovány svou frekvencí f [Hz] nebo vlnovou délkou λ [m]. Elektromagnetické záření s vlnovou délkou λ mezi hodnotami 100 nm a 1 mm se nazývá optické záření a dále se dělí na ultrafialové, viditelné a infračervené záření. Viditelné záření je takové optické záření, které přímo vyvolá zrakový počitek a jehož vlnová délka leží mezi hodnotami danými dolní mezi 360 nm až 400 nm a horní mezi 760 nm až 830 nm. Neboť jsou hodnoty dolní a horní hranice viditelného záření ovlivněny citlivostí oka pozorovatele a také množstvím zářivého toku, který dopadá na sítnici pozorovatele, byl Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE (CIE – „Commission Internationale de l’Eclairage“) stanoven rozsah citlivosti zraku standardního fotometrického pozorovatele v rozmezí 380 nm až 780 nm. Viditelné záření je dále rozděleno podle barevného vnímání monochromatické záření na pásma podle odstínů barev (viz tab. 2.1.1). ([48] str. 28 – 29, 459, 466; [59]; [115] str. 1 – 2)

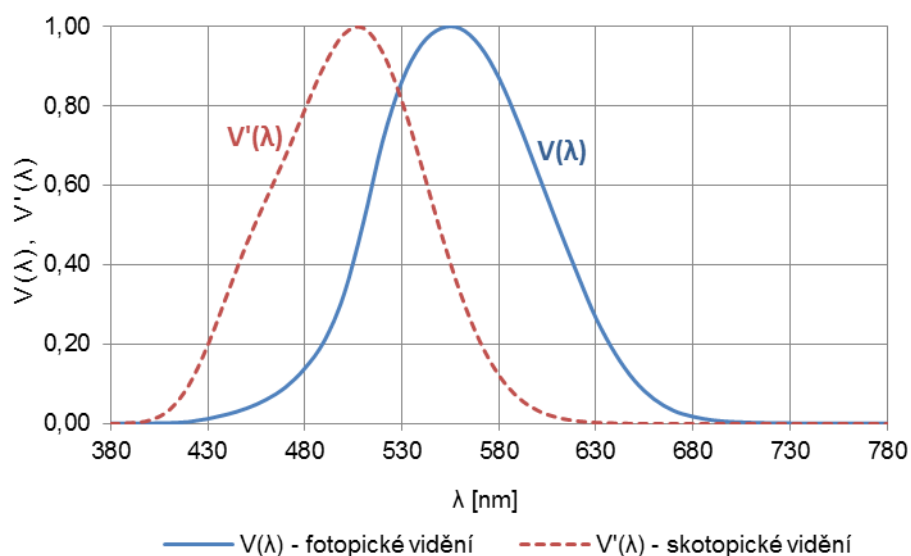
Tab. 2.1.1: Dělení optického záření podle vlnové délky λ (autor podle [115] str. 1 – 2)

optické záření							
ultrafialové	viditelné záření - barva						infračervené
	fialová	modrá	zelená	žlutá	oranžová	červená	
100 nm	380 nm	435 nm	500 nm	565 nm	600 nm	630 nm	780 nm
-	-	-	-	-	-	-	-
380 nm	435 nm	500 nm	565 nm	600 nm	630 nm	780 nm	1 mm
vlnová délka λ							

2.1.1 Standardní fotometrický pozorovatel

Označení standardní fotometrický pozorovatel dle CIE se používá pro pozorovatele, jehož poměrná spektrální citlivost zraku odpovídá křivkám dle obr. 2.1.1. Závislost poměrné spektrální světelné účinnosti monochromatického záření na vlnové délce optického záření znázorňuje křivka $V(\lambda)$ pro fotopické (denní) vidění a křivka $V'(\lambda)$ pro skotopické (noční) vidění. Rozdílnost ve fotopickém a skotopickém vidění vyplývá z odlišné citlivosti lidského zraku na rozdílné vlnové délky světla za fotopických a skotopických podmínek. Fotopické podmínky nastanou při adaptaci oka na jas vyšší než přibližně $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, skotopické podmínky vidění jsou uvažovány při adaptaci oka na jas menší než $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, při adaptaci oka na jas v rozmezí $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ až $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ se hovoří o mezopickém vidění. Zatímco při fotopickém vidění se uplatňují fotoreceptory nazývané čípky, při skotopickém vidění se uplatňují tyčinky, které mají ve srovnání s čípkami vyšší citlivost. Maximální poměrná spektrální světelná účinnost

monochromatického záření je pro standardního fotometrického pozorovatele CIE pro fotopické vidění při vlnové délce 555 nm a pro skotopické vidění při vlnové délce 507 nm. ([48] str. 5 – 6, 63 – 66)



Obr. 2.1.1 Průběh poměrné spektrální světelné účinnosti monochromatického záření pro fotopické $V(\lambda)$ a skotopické $V'(\lambda)$ vidění (autor podle [115] str. 40)

2.2 FOTOMETRICKÉ VELIČINY

Fotometrie se zabývá elektromagnetickým zářením, které je viditelné lidským zrakem. Fotometrické veličiny jsou vztaženy k poměrné spektrální citlivosti zraku standardního fotometrického pozorovatele dle CIE a jedná se tedy o veličiny psychofyzilogické. ([71] str. 21; [57] str. 219 – 220)

2.2.1 Světelný tok

Světelný tok Φ [lm] udává schopnost zářivého toku vyvolat zrakový vjem. Zářivý tok Φ_e [W] odpovídá množství energie, která je přenesená zářením za jednotku času podle vzorce (2.2.1). Světelný tok je odvozen ze zářivého toku pomocí funkce $V(\lambda)$ pro fotopické vidění nebo pomocí funkce $V'(\lambda)$ pro skotopické vidění. Pro spojité spektrum záření a fotopické vidění se světelný tok Φ stanoví na základě vzorce (2.2.2). Pro skotopické vidění platí obdobný vzorec, ale je uvažováno s poměrnou spektrální citlivostí $V'(\lambda)$ pro skotopické vidění. ([65] str. 41; [115] str. 5 – 6)

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt} \quad (2.2.1)$$

- Φ_e [W] – zářivý světelný tok;
- dQ_e [J] – elementární množství zářivé energie;
- dt [s] – jednotka času. ([60] str. 22)

$$\Phi = \int_0^{\infty} \phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot K(\lambda) \cdot d\lambda = K_m \int_0^{\infty} \phi_{e,\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2.2.2)$$

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} \quad (2.2.3)$$

- Φ [lm] – světelný tok;
- $\Phi_{e,\lambda}(\lambda)$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$] – spektrální hustota zářivého toku o vlnové délce λ ;
- $K(\lambda)$ [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$] – spektrální světelná účinnost záření o vlnové délce λ ;
- K_m [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$] – maximální hodnota spektrální světelné účinnosti záření, pro fotopické vidění $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ($\lambda_m = 555 \text{ nm}$);
- $V(\lambda)$ [-] – poměrná spektrální světelná účinnost pro záření o vlnové délce λ ([65] str. 41; [115] str. 5 – 6).

2.2.2 Svítivost

Svítivost I [cd] popisuje rozložení světelného toku bodového zdroje do prostoru a vypočítá se podle vzorce (2.2.4). Zdroj je přitom považován za bodový, pokud jsou jeho rozměry zanedbatelné vůči vzdálenosti zdroje od místa, kde se provádí měření. Obvykle se rozměry světelného zdroje považují za zanedbatelné, pokud je vzdálenost světelného zdroje od místa měření alespoň pětkrát větší než největší rozměr světelného zdroje. ([115] str. 7 – 8; [117] str. 15). Jednotka svítivosti kandela je základní jednotkou SI, přičemž svítivost o velikosti 1 cd je definována jako „svítivost zdroje, jenž vyzařuje pod určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou $1/683 \text{ W} \cdot \text{s}^{-1}$ a frekvencí $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ “ ([117] str. 15).

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.2.4)$$

- I [cd] – svítivost;
- $d\Phi$ [lm] – elementární světelný tok;
- $d\Omega$ [sr] – elementární část prostorového úhlu. ([117] str. 15)

Elementární část prostorového úhlu $d\Omega$ [sr] je definována vzorcem (2.2.5):

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} \quad (2.2.5)$$

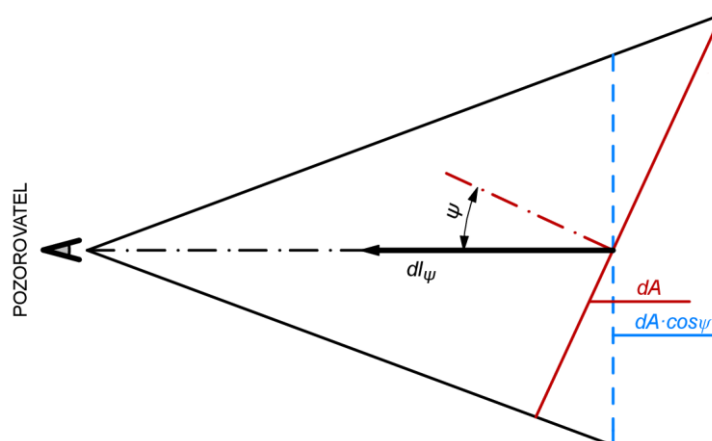
- dA [m^2] – elementární plocha vymezená kuželem na povrchu koule o poloměru r [m], která má střed S ve vrcholu tohoto kuželu. ([117] str. 22 – 23)

2.2.3 Jas

Jas L [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] představuje světelně technickou veličinu, která nejlépe odpovídá popisu světelného podnětu v místě čidla (oka pozorovatele). Jedná se o objektivní fotometrickou veličinu, která je vnímána lidským okem, které reaguje na kontrast a poměry jasů ([115] str. 12, 13, 77, 79). Ve směru pozorování se jas L v bodě osvětleného povrchu nebo plošného zdroje světla (viz obr. 2.2.1), kterým je například obloha, vypočte podle vzorce (2.2.6):

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\psi} = \frac{dI_\psi}{dA \cdot \cos\psi} \quad (2.2.6)$$

- L [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas ve směru pozorování v daném bodě povrchu plošného zdroje;
- $d\Phi$ [lm] – elementární světelný tok, který vychází z elementární plochy dA [m^2] v daném bodě povrchu plošného zdroje a šíří se elementárním prostorovým úhlem $d\Omega$ [sr] ve směru pozorování;
- ψ [rad; °] – úhel, který v bodě povrchu plošného zdroje svírá směr pozorování s normálou povrchu zdroje v tomto bodě;
- $dA \cdot \cos\psi$ [m^2] – velikost průmětu elementární plochy dA povrchu zdroje do roviny kolmé na směr pozorování (tj. zdánlivá velikost plochy dA vzhledem k pozorovateli);
- dI_ψ [cd] – elementární svítivost elementární plochy dA povrchu plošného zdroje světla v daném bodě vymezená úhlem ψ ([65] str. 54; [88] str. 146 – 147).



Obr. 2.2.1 Jas v bodě na svítící ploše v daném směru (autor podle [65] obr. 5.19)

Plošné zdroje světla představují obvykle tzv. Lambertovy (kosinové) zářiče. Pro svítivost Lambertova zářiče platí vzorec (2.2.7), který se nazývá Lambertův kosinový zákon:

$$dI_{\cos} = dI_N \cdot \cos\psi \quad (2.2.7)$$

- dI_{\cos} [cd] – svítivost elementární plochy dA [m^2] Lambertova (kosinového) zářiče v daném bodě povrchu zdroje;
- dI_N [cd] – svítivost ve směru normály elementární plochy dA v daném bodě povrchu zdroje;

- ostatní značení dle předcházejících vzorců. ([71] str. 22)

Jas povrchu Lambertova zářiče je konstantní a nezávisí na směru pozorování, ale pouze na jeho normálové svítivosti dle vzorce (2.2.8):

$$L_{cos} = \frac{dI_{cos}}{dA \cdot \cos\psi} = \frac{dI_N \cdot \cos\psi}{dA \cdot \cos\psi} = \frac{dI_N}{dA} \quad (2.2.8)$$

- L_{cos} [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas elementární plochy dA [m^2] Lambertova (kosinového) zářiče v daném bodě povrchu;
- ostatní značení dle předcházejících vzorců. ([88] str. 147)

2.2.4 Osvětlenost

Osvětlenost E [lx] je definována jako podíl elementárního světelného toku $d\Phi$ [lm] dopadajícího na elementární plochu dA [m^2], jak je uvedeno ve vzorci (2.2.9):

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.2.9)$$

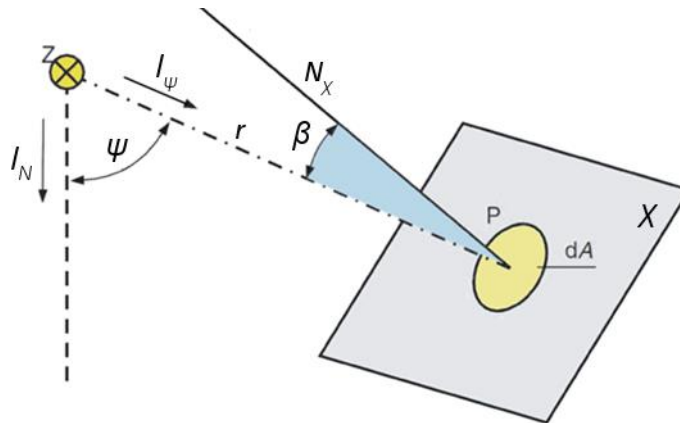
- E [lx] – osvětlenost elementární plochy dA v daném místě;
- $d\Phi$ [lm] – elementární světelný tok dopadající na osvětlovanou elementární plochu dA ;
- dA [m^2] – osvětlovaná elementární plocha. ([57] str. 220)

2.2.4.1 Osvětlenost bodovým zdrojem světla

Je-li zdrojem osvětlenosti bodový zdroj Z (viz obr. 2.2.2), který osvětluje rovinu χ , na které se nachází bod P , jehož bezprostřední okolí je tvořeno elementární plochou dA , potom bude paprsek světla šířící se ze zdroje svírat s normálou N_χ plochy χ úhel dopadu β . Při vzdálenosti r [m] bodového zdroje Z od bodu P bude osvětlenost dána vztahem (2.2.10):

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{dI_\psi}{dA} \cdot \frac{dA \cdot \cos\beta}{r^2} = \frac{dI_\psi \cdot \cos\beta}{r^2} \quad (2.2.10)$$

- E [lx] – osvětlenost bodovým zdrojem v bodě P ;
- $d\Phi$ [lm] – elementární světelný tok dopadající na elementární plochu dA [m^2] v bodě P (viz obr. 2.2.2);
- dI_ψ [cd] – elementární svítivost bodového zdroje Z vzhledem k bodu P vymezená úhlem ψ ;
- β [rad; °] – úhel dopadu paprsku světla z elementárního zdroje Z na osvětlovanou elementární plochu dA v bodě P ;
- r [m] – vzdálenost bodového zdroje Z od osvětlovaného bodu P , který leží na elementární ploše dA . ([117] str. 19)



Obr. 2.2.2 Osvětlenost bodovým zdrojem, I_N [cd] – svítivost bodového zdroje ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla ([58] obr. 3.5, upraveno značení)

2.2.4.2 Osvětlenost plošným zdrojem světla

Při výpočtu osvětlenosti plošným zdrojem světla (např. obloha, okno) se vychází z předpokladu, že plocha plošného zdroje světla se skládá ze souboru elementárních ploch dA s elementární svítivostí dI_ψ v daném bodě vztáženou k úhlu ψ (viz obr. 2.2.3). Celková osvětlenost E plošným zdrojem (viz obr. 2.2.3) se stanoví integrací přes celou plochu světelného zdroje A [m²] dle vztahu (2.2.11), který se získá ze vztorce (2.2.10) pomocí vyjádření a dosazení elementární svítivosti dI_ψ ze vztorce (2.2.6). Za využití obr. 2.2.3 lze ze vztorce (2.2.11) odvodit vztahy vyjádřené vzorci (2.2.12) a (2.2.13). Pro Lambertův (kosinový) zářič s konstantním jasem L_{cos} lze vztah (2.2.13) zjednodušit do vztahu (2.2.14). ([44] str. 579 – 580; [71] str. 23 – 24; [77] str. 137 – 141)

$$E = \int_{(A)} L \cdot \cos \psi \cdot \frac{\cos \beta}{r^2} \cdot dA \quad (2.2.11)$$

$$E = \int_{(A_1)} L \cdot \frac{\cos \beta}{R^2} \cdot dA_1 \quad (2.2.12)$$

$$E = \frac{1}{R^2} \int_{(A_2)} L \cdot dA_2 \quad (2.2.13)$$

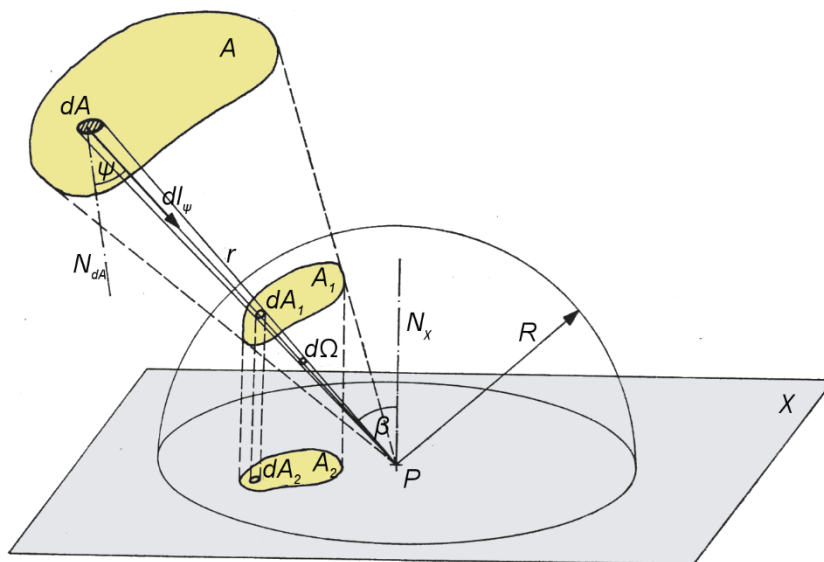
$$E_{cos} = \frac{L_{cos} \cdot A_2}{R^2} \quad (2.2.14)$$

Podle obr. 2.2.3 se ve vzorcích (2.2.11) až (2.2.14) rozumí:

- E [lx] – osvětlenost plošným zdrojem světla;
- L [cd · m⁻²] – jas elementární plochy dA plošného zdroje světla ve směru k bodu P ;
- ψ [rad; °] – úhel, který svírá v bodě povrchu plošného zdroje směr pozorování s normálou povrchu zdroje v tomto bodě;

- β [rad; °] – úhel dopadu světla na osvětlovanou plochu v bodě P ;
- dA [m²] – elementární plocha plošného zdroje světla;
- r [m] – vzdálenost elementární plochy dA od bodu P ;
- $d\Omega$ [sr] – prostorový úhel, pod kterým je z bodu P vidět elementární plocha dA ;
- R [m] – poloměr fiktivní hemisféry se středem v bodě P ;
- dA_1 [m²] – elementární plocha na fiktivní hemisféře s konstantním poloměrem R [m];
- dA_2 [m²] – obsah kolmého průmětu elementární plochy dA_1 do tečné roviny χ osvětlované plochy v bodě P ;
- E_{cos} [lx] – osvětlenost povrchu Lambertova (kosinového zářiče);
- L_{cos} [cd · m⁻²] – jas Lambertova (kosinového zářiče);
- A_2 [m²] – obsah průmětu plochy celého plošného zdroje do osvětlované roviny (jedná se o součet elementárních průmětů dA_2). ([44] str. 580)

Pro hodnocení denního osvětlení je podstatná osvětlenost venkovní nezastíněné roviny. Pokud by obloha měla konstantní jas L a osvětlovala by horizontální rovinu o ploše $A_2 = \pi \cdot R^2$, potom by osvětlenost nezastíněné horizontální roviny byla $E_H = L \cdot \pi$. Model zatažené oblohy s jednotným jasnem byl v minulosti uvažován Lambertem [81]. ([67] str. 306; [71] str. 24) V současnosti se však používají pro popis oblohy složitější matematické modely, které jsou podrobně popsány například v [29] nebo [101].



Obr. 2.2.3 Osvětlenost plošným zdrojem, N_{dA} – normála k elementární ploše dA , N_x – normála k ploše χ ([44] obr. 75.5B, upraveno)

2.3 OPTICKÉ VLASTNOSTI PŘEDMĚTŮ A PROSTŘEDÍ

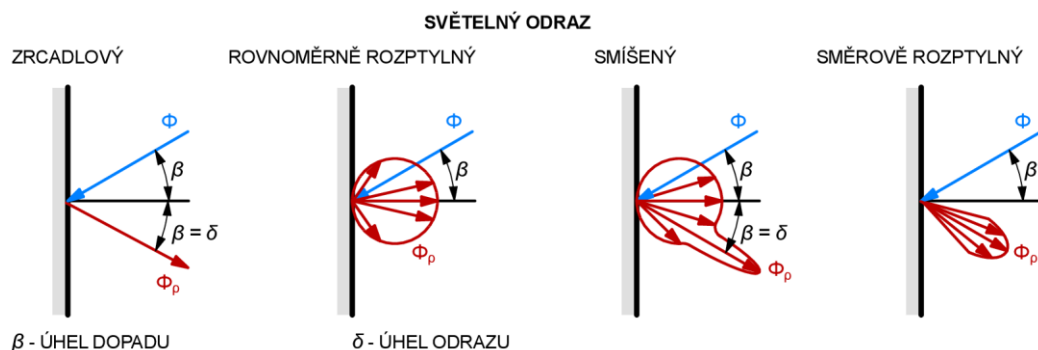
Celkový světelný tok Φ dopadající na povrch předmětu nebo prostředí se po dopadu částečně odrazí, částečně pohltí a v případě průsvitných a průhledných prostředí a předmětů část světelného toku předmětem nebo prostředím prostoupí, což je vyjádřeno vztahem (2.3.1):

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\tau} + \phi_{\alpha} \quad (2.3.1)$$

- Φ [lm] – celkový světelný tok dopadající na povrch předmětu;
- Φ_{ρ} [lm] – světelný tok odražený od povrchu předmětu nebo prostředí;
- Φ_{τ} [lm] – světelný tok prostupující předmětem nebo prostředím;
- Φ_{α} [lm] – světelný tok pohlcený předmětem nebo prostředím. ([60] str. 76)

2.3.1 Odraz světla

Odraz světla nastává při dopadu světelného záření na povrch předmětu nebo prostředí, odkud se vrací beze změny kmitočtu jeho monochromatických složek. Při odrazu světla se z makroskopického hlediska hodnotí množství odraženého světla a způsob jeho odrazu. Z hlediska způsobu odrazu světla se rozlišují dva základní typy: zrcadlový a rozptylný odraz. Zrcadlový odraz nastává na hladkých površích, jejichž nerovnosti jsou menší než vlnové délky dopadajícího světla. Úhel dopadu při zrcadlovém odrazu je roven úhlu odrazu (viz obr. 2.3.1). Při rozptylném (difúzním) odrazu nastává odraz světla do různých směrů, kdy v makroskopickém měřítku nevzniká odraz zrcadlový. Rozptylný odraz je typický pro matné povrchy, které obsahují nerovnosti, které jsou mnohem větší než vlnová délka dopadajícího světelného záření. Při rovnoměrně rozptylném odrazu se světlo odráží rovnoměrně do všech směrů poloprostoru, kam je záření odráženo. Vlastnosti směrově rozptylného odrazu odpovídají vlastnostem rozptylného odrazu s tím rozdílem, že odražené záření v některém směru převažuje. Směrově difúzní odraz nastává častěji při větších úhlech dopadu. Smíšený odraz je kombinací odrazu zrcadlového a rozptylného. ([67] str. 321; [115] str. 22 – 24)



Obr. 2.3.1 Odraz světla od povrchu předmětu (autor podle [61] obr. III.8; [67] obr. 6.2; [115] obr. 17)

Poměr odraženého Φ_ρ a dopadajícího Φ světelného toku se nazývá reflektance – tj. **činitel odrazu světla** ρ [-].

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (2.3.2)$$

- ρ [-] – činitel odrazu světla;
- Φ_ρ [lm] – světelný tok odražený od povrchu předmětu nebo prostředí;
- Φ [lm] – celkový světelný tok dopadající na povrch předmětu nebo prostředí.

S využitím činitele odrazu světla lze u povrchů, které mají vlastnosti Lambertových zářičů, stanovit jas plochy podle vztahu (2.3.3):

$$L_{cos} = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (2.3.3)$$

- L_{cos} [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas povrchu Lambertova zářiče;
- ρ [-] – činitel odrazu světla od povrchu Lambertova zářiče;
- E [lx] – osvětlenost povrchu Lambertova zářiče. ([44] str. 582 – 583)

Hodnoty činitelů odrazu světla ρ pro vybrané materiály a pro vybrané barvy difúzních povrchů jsou uvedeny například v tab. A.4 v normě ČSN 73 0580-1 [8]. Hodnoty činitelů odrazu světla se však pro jednotlivé typy povrchů mohou lišit dle použitého zdroje.

Podle čl. 4.6.3 normy ČSN 73 0580-1 [8] se ve světelně technických výpočtech používají následující hodnoty činitele odrazu světla pro vnitřní povrchy místnosti: strop $\rho = 0,7$; stěny $\rho = 0,5$; podlaha $\rho = 0,3$. S výjimkou podlahy jsou stejné hodnoty činitele odrazu světla od vnitřních povrchů uvedeny také v čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24], ve kterém je pro podlahu stanoven činitel odrazu světla 0,20. Činitel odrazu světla od terénu se má dle čl. A.20 normy ČSN 73 0580-1 [8] uvažovat hodnotou činitele odrazu světla 0,1 (trávník, živičný povrch). Dle čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24] se však pro venkovní terén obvykle volí činitel odrazu světla o hodnotě 0,2. Doporučená hodnota činitele odrazu světla pro venkovní stěny podle čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24] se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,4 a použití vyšších hodnot má být zdůvodněno. Norma ČSN 73 0580-1 [8] v čl. 4.6.5 doporučuje průčelí budov opatřit povrchem s průměrným činitelem odrazu světla 0,5 a vyšším. Toto ustanovení však lze chápat jako doporučení projektantům pro navrhování světlých odstínů fasád a nikoliv jako doporučení pro použití této hodnoty činitele odrazu světla ve světelně technickém výpočtu.

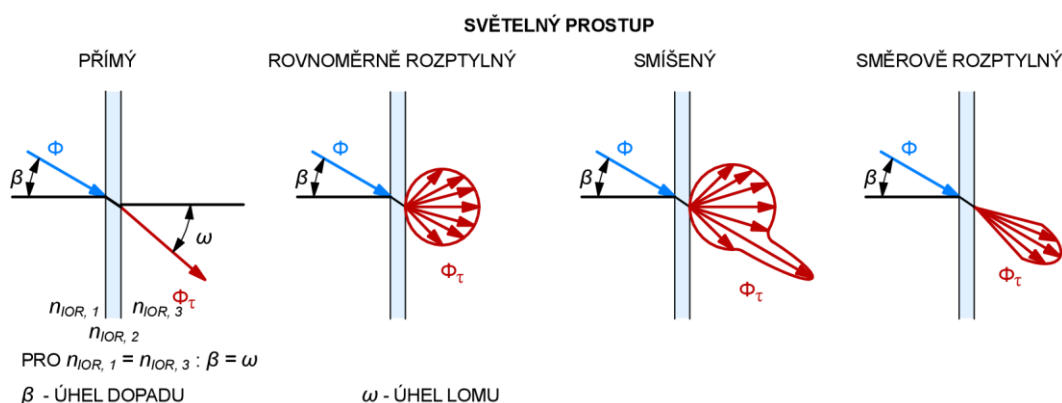
Kromě činitele odrazu světla je však dle ČSN 73 0580-1 [8] možné světelně technické vlastnosti překážek popsat také pomocí činitele jasu k_γ [-] v místě s výškovým úhlem γ nad horizontem. Činitel jasu k_γ představuje poměr jasu stínící překážky a jasu oblohy, kterou překážka zakrývá. V čl. A.12 ČSN 73 0580-1 [8] je uvedeno, že činitel jasu stínící překážky k_γ se má přednostně uvažovat hodnotou 0,1. Uvedená hodnota činitele jasu $k_\gamma = 0,1$ je u běžných stínících situací očekávatelná u tmavých povrchů. Činitel jasu stínící překážky k_γ je definován v čl. A.12 normy ČSN 73 0580-1 [8].

2.3.2 Prostup světla

Prostup světla (transmise) nastává, pokud část světelného toku dopadajícího na povrch objektu nebo prostředí prostoupí skrz tento objekt nebo prostředí. Obdobně jako u odraženého světelného toku se u prostupujícího světelného záření hodnotí způsob světelného prostupu a jeho množství. Základní způsoby prostupu světelného záření předmětem nebo prostředím jsou: **přímý**, **rovnoměrně a směrově rozptylný** a **smíšený** (viz obr. 2.3.2). Při přímém prostupu světelného paprsku z jednoho prostředí do druhého prostředí s odlišnými optickými vlastnostmi nastává lom, pro který platí Snellův zákon popsany rovnicí (2.3.4):

$$n_{IOR,1} \cdot \sin \beta = n_{IOR,2} \cdot \sin \omega \quad (2.3.4)$$

- $n_{IOR,1}, n_{IOR,2}$ [-] – index lomu prostředí (IOR – index of refraction);
- β [rad; °] – úhel dopadu;
- ω [rad; °] – úhel lomu. ([62] str. 904; [115] str. 30)



Obr. 2.3.2 Odraz světla od povrchu předmětu (autor podle [61] obr. III.8; [115] obr. 20)

Činitel prostupu světla (transmise) τ [-] se stanoví podle vzorce (2.3.5) jako podíl světelného toku, který na daný předmět nebo prostředí dopadá, a světelného toku, který skrz předmět nebo prostředí prostoupí.

$$\rho = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad (2.3.5)$$

- τ [-] – činitel prostupu světla;
- Φ_{τ} [lm] – světelný tok prostupující skrz předmět nebo prostředí;
- Φ [lm] – celkový světelný tok dopadající na povrch předmětu nebo prostředí.

U povrchů s vlastnostmi Lambertových zářičů, lze určit jas plochy podle vztahu (2.3.6):

$$L_{cos} = \frac{\tau \cdot E}{\pi} \quad (2.3.6)$$

- L_{cos} [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas povrchu Lambertova zářiče;
- τ [-] – činitel prostupu světla Lambertovým zářičem;
- E [lx] – osvětlenost povrchu Lambertova zářiče. ([44] str. 582 – 583)

Při výpočtech denního osvětlení budov se pomocí činitele prostupu světla nejčastěji definují vlastnosti světlopropustných výplní osvětlovacích otvorů. Norma ČSN 73 0580-1 [8] uvádí v tabulce A.1 pro vybrané materiály hodnoty činitele prostupu světla ve směru normály k povrchu $\tau_{s,nor}$ [-]. Čiré sklo s tloušťkou 3 – 4 mm má například dle této normativní tabulky hodnotu činitele prostupu světla $\tau_{s,nor} = 0,92$. V současné době jsou obvykle výrobci oken a stavebních skel uváděny konkrétní hodnoty činitele prostupu světla pro konkrétní typ zasklení.

Světelná propustnost materiálů může být redukována jejich znečištěním, proto se při výpočtech denního osvětlení dle normy ČSN 73 0580-1 [8] používají hodnoty činitele znečištění pro vnitřní $\tau_{z,i}$ [-] a vnější $\tau_{z,e}$ [-] stranu. Celková hodnota činitele znečištění τ_z [-] je dána součinem činitele znečištění na vnitřní a vnější straně dle vzorce (2.3.7).

$$\tau_z = \tau_{z,i} \cdot \tau_{z,e} \quad (2.3.7)$$

- τ_z [-] – celkový činitel znečištění;
- $\tau_{z,i}$ [-] – činitel znečištění na vnitřní straně zasklení;
- $\tau_{z,e}$ [-] – činitel znečištění na vnější straně zasklení. ([88] str. 177)

Konkrétní normativní hodnoty činitele znečištění jsou uvedeny v tabulce A.2 normy ČSN 73 0580-1 [8]. Například pro obytnou místnost nebo kancelář se dle této normativní tabulky obvykle uvažuje malé znečištění zasklení osvětlovacího otvoru na vnitřní straně, které pro svislý povrch osvětlovacího otvoru činí $\tau_{z,i} = 0,95$. Pro běžná sídliště pak norma ČSN 73 0580-1 [8] v tabulce A.2 uvádí pro vnější stranu osvětlovacího otvoru střední znečištění, což pro svislý povrch osvětlovacího otvoru představuje hodnotu činitele znečištění $\tau_{z,e} = 0,90$. Celkový činitel znečištění pro svislý osvětlovací otvor s malým znečištěním na vnitřní straně a středním znečištěním na vnější straně potom dle vzorce (2.3.7) je $\tau_z = 0,855$. Snížení činitele prostupu světla zasklením je nutné ve výpočtech denního osvětlení zohlednit také dle čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24].

2.3.3 Pohlcení světla

Část světelného záření, které dopadá na povrch předmětu nebo prostředí, je obvykle pohlceno a přeměněno v jiný druh energie, kterým může být například teplo. Činitel pohlcení α [-] (absorpce) se vypočte podle vzorce (28):

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad (2.3.8)$$

- α [-] – činitel pohlcení světla;
- Φ_{α} [lm] – světelný tok pohlcený předmětem nebo prostředím;
- Φ [lm] – celkový světelný tok dopadající na povrch předmětu nebo prostředí. ([44] str. 582)

U **absolutně černého tělesa** je veškerý dopadající světelný tok pohlcen, a proto platí: $\alpha = 1$. **Neprůsvitný předmět** část dopadajícího světelného toku odrazí a část pohltí: $\rho + \alpha = 1$. Za předpokladu, že u **průsvitného předmětu** nebude docházet k pohlcení světla ($\alpha = 0$), bude pro průsvitný předmět platit $\rho + \tau = 1$. U reálných světlopropustných předmětů však po dopadu světelného toku na předmět bude docházet současně k odražení, prostupu i pohlcení světelného toku. ([60] str. 77; [115] str. 34 – 35)

2.4 DENNÍ SVĚTLO

Viditelná část elektromagnetického záření, jehož zdrojem je Slunce, představuje denní světlo. Při střední vzdálenosti Země od Slunce $149,59 \cdot 10^6$ km je intenzita slunečního záření na hranici zemské atmosféry rovna solární zářivé konstantě o hodnotě $1367 \pm 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ([115] str. 47; [38]). Při průchodu zemskou atmosférou dochází k pohlcení a rozptylu části slunečního záření, proto je denní světlo tvořeno světlem přímým a světlem oblohovým (difúzním). Přímé sluneční světlo dopadá na zemský povrch jako kolimovaný svazek ([115] str. 50) a zdrojem oblohového světla je každý bod oblohové hemisféry ([102] str. 5).

Charakteristickým znakem denního světla je jeho dynamičnost v průběhu dne i roku, a to nejen z hlediska intenzity, ale také z hlediska spektrálního složení a prostorového rozložení. Důvodem pro neustálou proměnlivost denního světla je kromě rotace Země kolem Slunce také proměnlivost optických vlastností zemské atmosféry v důsledku koncentrace vodní páry, vody a pevných částic. ([88] str. 151 – 152) Poloha slunce, míra výskytu, typ a propustnost oblaků i zákal atmosféry ovlivňují rozložení jasů oblohy, čímž se mění také denní osvětlenosti povrchů. V průběhu roku se tak vyskytují různé typy obloh od jasných přes oblačné až po oblohy zatažené. ([52] str. 10 – 11)

Zatímco u obloh jasných a oblačných má denní světlo složku přímou i oblohovou, u zcela zatažených obloh je denní světlo tvořeno pouze složkou oblohovou. Globální sluneční záření je dáno součtem přímého slunečního záření a difúzního slunečního záření. Na horizontální nezastíněnou rovinu dopadá pouze globální sluneční záření. Na roviny skloněné však kromě globálního slunečního záření dopadá také záření odražené od okolních povrchů (např. terén, budovy). ([67] str. 299 – 301) Osvětlenost horizontálního zemského povrchu vyvolaná denním

světlem se nazývá globální horizontální osvětlenost a je součtem osvětlenosti přímým slunečním světlem a oblohovým světlem ([115] str. 53; [134]).

2.5 DENNÍ OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH

Denní osvětlení v budovách může být hodnoceno z hlediska kvalitativního a kvantitativního. Při kvalitativním hodnocení se posuzuje například rovnoměrnost osvětlení, oslnění, rozložení světelného toku, převažující směr světla, barva světla. Kvantitativní hodnocení denního osvětlení spočívá ve vyhodnocení množství denního světla. Kvantitativně je denní osvětlení možné hodnotit tradičně pomocí **činitele denní osvětlenosti** při rovnoměrně zatažené obloze nebo lze stanovit **osvětlenosti v průběhu celého roku** na základě ročních klimatických dat pro dané místo. Dizertační práce se dále zaměřuje na kvantitativní hodnocení denního osvětlení zastíněných budov.

Závaznost požadavků na denní osvětlení budov vyplývá v České republice z ustanovení zejména následujících právních předpisů:

- § 10, § 11 a § 12 vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby [35];
- § 25 odst. 1 vyhlášky č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území [36];
- § 12 až § 15 vyhlášky č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých [37];
- § 45 nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci [31];
- § 45 nařízení č. 10/2016 Sb. hlavního města Prahy [30].

Hodnocení denního osvětlení budov se v České republice provádí zejména na základě následujících norem:

- denní osvětlení budov: ČSN 73 0580-1 [8], ČSN 73 0580-2 [11], ČSN 73 0580-3 [13], ČSN 73 0580-4 [15], ČSN EN 17037 [24];
- sdružené osvětlení: ČSN 36 0020 [20];
- měření osvětlení prostorů: ČSN 36 0011-1 [17], ČSN 36 0011-2 [19].

Vyhovující denní osvětlení musí mít místnosti s trvalým pobytem lidí, jak uvádí ustanovení čl. 4.2.1 normy ČSN 73 0580-1 [8]. Pod termínem trvalý pobyt se dle čl. 3.1.3 normy ČSN 73 0580-1 [8] rozumí: „*pobyt lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezené části, který trvá v průběhu jednoho dne (za denního světla) déle než 4 hodiny a opakuje se při trvalém užívání budovy více než jednou týdně.*“

2.5.1 Stanovení kvanta denního světla pomocí činitele denní osvětlenosti

Z důvodu neustálé proměnlivosti denního osvětlení byla pro jeho kvantitativní hodnocení zavedena poměrná veličina – **činitel denní osvětlenosti** D [%], který se vypočte podle vzorce (2.5.1). Činitel denní osvětlenosti D_i je definován jako podíl osvětlenosti E_i [lx] vyvolané oblohovým světlem (včetně odraženého oblohového světla) v kontrolním bodě i dané

roviny a simultánně stanovené oblohové osvětlenosti E_H [lx] na horizontální nezastíněné rovině. Osvětlenost denním světlem v kontrolním bodě i na horizontální nezastíněné rovině musí být stanovena simultánně s vyloučením vlivu přímého slunečního světla a pouze pro oblohu se známým nebo předpokládaným rozložením jasu. ([24] čl. 3.2; [64] str. 68 – 69; [115] str. 64; [134])

$$D_i = \frac{E_i}{E_H} \cdot 100 \% \quad (2.5.1)$$

- D_i [%] – činitel denní osvětlenosti v kontrolním bodě i ;
- E_i [lx] – oblohová osvětlenost denním světlem (včetně odraženého oblohového světla) v kontrolním bodě i ;
- E_H [lx] – oblohová osvětlenost denním světlem venkovní nezastíněné horizontální roviny stanovená ve stejný okamžik jako osvětlenost E_i v kontrolním bodě.

Hodnota činitele denní osvětlenosti je součtem oblohové a odražené složky činitele denní osvětlenosti. Je-li hodnota činitele denní osvětlenosti stanovována na venkovním povrchu, skládá se odražená složka činitele denní osvětlenosti z odražené složky od terénu a z odražené složky od stínících překážek. Při hodnocení denního osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti se odražená složka činitele denní osvětlenosti dělí na vnější a vnitřní odraženou složku. V závislosti na okrajových podmínkách hodnocené situace může být některá ze složek činitele denní osvětlenosti nulová. ([8] čl. A.13, B.1)

Hodnocení kvanta denního osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti se ve smyslu čl. B.3.2 normy ČSN EN 17037 [24] provádí při zatažené obloze typ 1 nebo 16 (dále jen „obloha CIE 1“, „obloha CIE 16“). Tyto oblohy jsou definovány v ISO 15469 [29]. Rozložení jasu pro oblohu CIE 16 je dáno vzorcem (2.5.2), který roku 1942 publikovali P. Moon a D. Spencer [97]. Obloha CIE 16 tedy představuje rovnoměrně zataženou oblohu, jejíž jas v zenitu je trojnásobný oproti jasu v horizontu. Tento model rovnoměrně zatažené oblohy byl v roce 1955 přijat CIE [4] a pro hodnocení denního osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti při tmavém terénu je předepsán také čl. A.2 české normy ČSN 73 0580-1 [8].

$$\frac{L_\gamma}{L_z} = \frac{1 + 2 \sin \gamma}{3} \quad (2.5.2)$$

- L_γ [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas oblohy v úhlové výšce γ [rad; °] nad horizontem;
- L_z [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas oblohy v zenitu. ([4]; [8] čl. A.2; [97])

Při tmavém terénu je u rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16 poměr průměrného jasu oblohy L_m [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] k jasu v zenitu L_z [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] roven 7/9, jak vyplývá ze vzorce (2.5.3). Průměrný jas rovnoměrně zatažené oblohy L_m je roven jasu rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16 v úhlové výšce $\gamma = 41,8^\circ$ nad horizontem. ([115] str. 54; [8] čl. A.2).

$$L_{\gamma} = q \cdot L_m = \frac{3}{7} \cdot (1 + 2 \cdot \sin \gamma) \cdot L_m \quad (2.5.3)$$

- L_m [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – průměrný jas rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16;
- q [-] – činitel jasu rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16;
- ostatní značení dle předcházejících vzorců. ([8] čl. A.2; [115] str. 54)

S. Fritz a P. Petherbridge ovšem teoreticky i měřením prokázali, že rozložení jasů rovnoměrně zatažené oblohy závisí také na činiteli odrazu světla od terénu a tedy rovnoměrně zatažená obloha nemá vždy poměr jasů od horizontu k zenitu 1:3 ([64] str. 43). Podle R. Kittlera se rozložení jasu rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16 liší v závislosti na činiteli odrazu světla od terénu ρ_T [-] podle vztahu (2.5.4) ([77] str. 77).

$$\frac{L_{\gamma}}{L_z} = \frac{1 + 2 \cdot (1 - \rho_T^3) \cdot \sin \gamma}{1 + 2 \cdot (1 - \rho_T^3)} \quad (2.5.4)$$

- ρ_T [-] – činitel odrazu světla od terénu;
- ostatní značení dle předcházejících vzorců. ([77] str. 77)

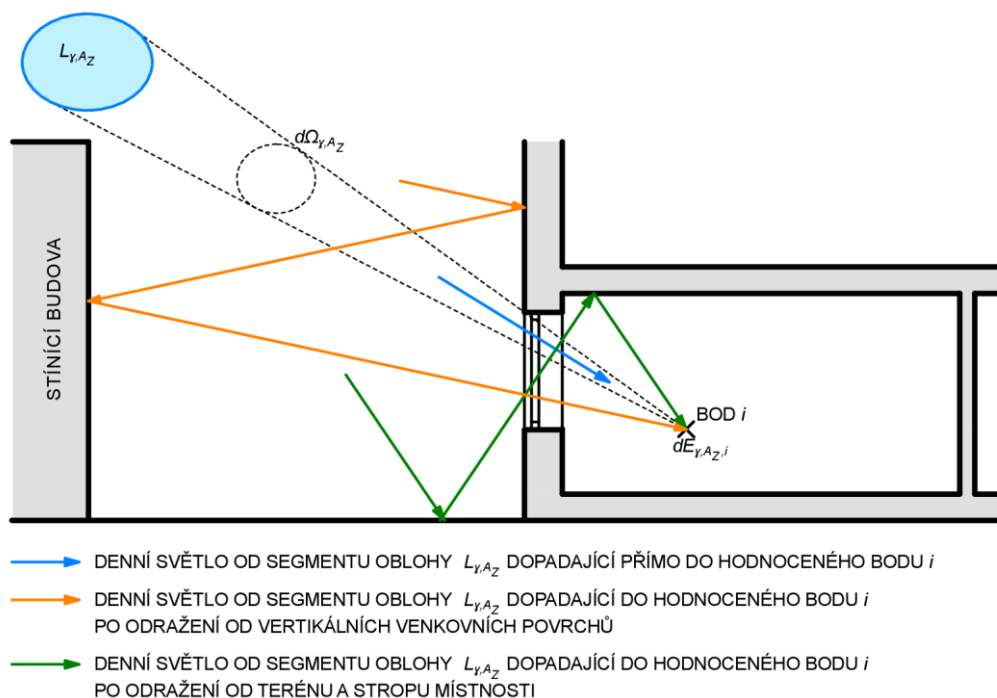
2.5.2 Stanovení kvanta denního světla pomocí kritérií založených na klimatických datech

Kvantitativní hodnocení denního osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti se provádí při rovnoměrně zatažené obloze, u které je vyloučeno přímé sluneční světlo. Výsledná hodnota činitele denní osvětlenosti tedy není závislá na konkrétní lokalitě ani na orientaci oken místnosti ke světovým stranám. V roce 2000 publikovali nezávisle na sobě C. Reinhart et al. [112] a J. Mardaljevic [93] **metody pro stanovení denních osvětleností v průběhu roku na základě klimatických dat** (CBDM – Climate Based Daylight Modelling – **modelování denního osvětlení založené na klimatických datech**). C. Reinhart i J. Mardaljevic pro výpočty časových řad denních osvětleností použili koeficienty denního světla DC_{γ, A_z} [-] (DC – daylight coefficients), které se stanoví metodou publikovanou P. Tregenzou a I. M. Watersem [118]. Pro definování koeficientu denního světla DC_{γ, A_z} dle vzorce (2.5.5) se předpokládá rozdělení oblohy do elementárních částí (viz obr. 2.5.1). Koeficient denního světla vyjadřuje závislost osvětlenosti uvnitř místnosti na změnách jasu elementární části oblohy. [118] Při výpočtu časových řad osvětleností je výhodou metody založené na koeficientech denního světla zkrácení celkové doby výpočtu světelné simulace díky snížení celkového počtu simulací odražené složky denního světla oproti simulacím, ve kterých by odražená složka byla počítána postupně pro všechny typy obloh, které se vyskytují během roku [93].

$$DC_{\gamma, A_z, i} = \frac{dE_{\gamma, A_z, i}}{L_{\gamma, A_z} \cdot d\Omega_{\gamma, A_z}} \quad (2.5.5)$$

- $DC_{\gamma, A_z, i}$ [-] – koeficient denního světla v hodnoceném bodě i pro elementární část oblohy v úhlové výšce γ [rad; °] nad horizontem při azimutu A_z [rad; °];
- $dE_{\gamma, A_z, i}$ [lx] – osvětlenost bodu i vyvolaná elementární částí oblohy s jasem L_{γ, A_z} ;

- L_{γ, A_z} [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas elementární části oblohy vymezené úhlovou výškou γ [rad; °] nad horizontem a azimutem A_z [rad; °];
- $d\Omega_{\gamma, A_z}$ [sr] – prostorový úhel, který vymezuje elementární část oblohy s jasem L_{γ, A_z} ;
- E_i [lx] – celková osvětlenost v bodě i od všech elementárních částí oblohy. ([47]; [93]; [112]; [118])



Obr. 2.5.1 Schéma řezu místností s hodnoceným bodem i pro základní stanovení koeficientu denního světla v bodě i od segmentu oblohy s jasem L_{γ, A_z} (autor podle [93] Figure 1; [105] Fig. 2-5; [119] Fig. 10.1)

Je-li obloha rozdělena do elementárních částí j , jejichž celkový počet činí n částí, potom se osvětlenost E_i v bodě i vypočte dle vzorce (2.5.6). Celková osvětlenost v hodnoceném bodě i je dána součtem osvětleností od difúzního světla, přímého slunečního světla a od odraženého světla (difúzního i přímého). ([93]; [112])

$$E_i = \sum_{j=1}^n DC_{j,i} \cdot L_j \cdot \Omega_j \quad (2.5.6)$$

- E_i [lx] – celková osvětlenost v bodě i od všech elementárních částí oblohy;
- $j = 1 \dots n$ – rozdělení oblohy na n elementárních částí j ;
- $DC_{j,i}$ [-] – koeficient denního světla v hodnoceném bodě i pro j -tou elementární část oblohy;
- L_j [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas j -té elementární části oblohy;
- Ω_j [sr] – prostorový úhel, který vymezuje j -tou elementární část oblohy. ([93]; [105] str. 21; 22, [110]; [112])

V rámci CBDM jsou prováděny simulace denních osvětleností obvykle pro celý rok v daném místě hodnocení. Údaje o rozložení jasů oblohy jsou však dostupné jen pro velmi omezený počet míst, proto bývá pro CBDM výpočty používán model oblohy navržený R. Perezem et al. [101], pomocí kterého je možné stanovit denní osvětlenosti na základě hodinových údajů pro globální a přímé sluneční záření. Tento model oblohy je například použit pro CBDM v programu Daysim ([107] str. 21).

Simulace denního osvětlení založené na CBDM bývají také označovány jako **dynamické simulace denního osvětlení**. Naopak simulace denního osvětlení pro jeden konkrétní typ oblohy bývají nazývány **statickými simulacemi denního osvětlení** (tj. například simulace pro stanovení činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16). [114]

Mezi kvantitativní kritéria pro hodnocení denních osvětleností stanovených pomocí CBDM patří například autonomie denního osvětlení (DA [%] – daylight autonomy), prostorová autonomie denního osvětlení (sDA [%] – spatial daylight autonomy), prospěšná denní osvětlenost (UDI [%] – useful daylight illuminance). V hodnocení pomocí těchto kritérií je obvykle zahrnuta i provozní doba místnosti, po kterou se v ní zdržují lidé [114]. Pokud je například pracovní doba kanceláře nebo otevírací doba prodejny stanovena od pondělí do pátku v čase 8:00 až 17:00 bez polední přestávky, je vyhodnocení pomocí kritérií založených na CBDM provedeno obvykle pouze pro tuto provozní dobu.

Autonomie denního osvětlení DA [%] vyjadřuje, po jakou část provozní doby místnosti během roku je v hodnoceném bodě denním světlem zajištěna alespoň minimální požadovaná osvětlenost [110]. Požadovaná osvětlenost je stanovena dle účelu místnosti, přičemž lze uvést, že pro čtení a psaní je obvykle požadována minimální osvětlenost hodnotou 300 lx [28] nebo 500 lx [22]. Například hodnota autonomie denního osvětlení $DA = 50\%$ znamená, že v hodnoceném bodě je v 50 % roční provozní doby místnosti dosaženo denní osvětlenosti vyšší, než je požadovaná hodnota.

Pro vyhodnocení denního osvětlení místnosti je používána také **prostorová autonomie denního osvětlení** sDA [%], která vyjadřuje, v jaké ploše místnosti je během určené části jejich provozních hodin splněn požadavek na minimální požadovanou denní osvětlenost [28]. Pokud je pro hodnocenou místnost například stanovena prostorová autonomie $sDA = 50\%$, potom jsou hodnoty denních osvětleností vyšší než požadovaná hodnota v 50 % hodnocené plochy místnosti minimálně po dobu určené části roční provozní doby místnosti. Určená část roční provozní doby místnosti bývá obvykle stanovena na 50 % roční provozní doby [28].

Preferované množství denního světla v interiéru budovy se však liší v závislosti na vykonávané zrakové činnosti a požadavcích konkrétního uživatele interiéru. Z těchto důvodů A. Nabil a J. Mardaljevic provedli průzkum [98], jehož cílem bylo vyhodnotit minimální a maximální přijatelnou osvětlenost v místnosti dle názoru konkrétních uživatelů. Na základě tohoto průzkumu byly stanoveny tři úrovně denních osvětleností:

- 1) **denní osvětlenost nižší než 100 lx** je považována za nízkou a nevhodnou pro dosažení zrakové pohody v místnosti;
- 2) **denní osvětlenost v rozmezí 100 lx – 2000 lx** představuje **prospěšnou denní osvětlenost**, protože je při ní dosaženo zrakové a tepelné pohody v místnosti;

3) **denní osvětlenost vyšší než 2000 lx** může vést k zrakovému a tepelnému diskomfortu v místnosti. [98]

Toto rozdělení denních osvětleností následně vedlo k vytvoření hodnotícího kritéria **prospěšná denní osvětlenost UDI** [%]. Pomocí kritéria *UDI* je vyhodnocení denního osvětlení provedeno opět během roční provozní doby místnosti, přičemž je pro hodnocení bod stanoveno, po jakou část provozní doby je denní osvětlenost nižší než 100 lx, nachází se v rozmezí 100 lx až 2000 lx, je vyšší než 2000 lx. [98]

Porovnání vyhodnocení kvanta denního světla v místnosti pomocí činitele denní osvětlenosti dle normy ČSN 730580-1 [7] s vyhodnocením pomocí prospěšné denní osvětlenosti *UDI* a autonomie denního osvětlení *DA* bylo pro zastíněné budovy provedeno autorkou dizertační práce v článcích [125] a [129].

Norma ČSN EN 17037 [24] zavedla nově hodnocení denního osvětlení také pomocí **hladin osvětlenosti**, které se stanovují v hodinovém nebo kratším časovém intervalu v rámci běžného roku na základě klimatických údajů pro dané místo. Toto hodnocení je obdobou hodnocení pomocí prostorové autonomie denního osvětlení. Blíže je hodnocení pomocí hladin osvětleností podle normy ČSN EN 17037 [24] popsáno v kapitole 2.5.4.2.

2.5.3 Přístup světla k průčelí budovy

Budova nebo jiná stínící překážka (např. strom, pergola, vlastní konstrukce budovy jako balkon, lodžie, arkýř nebo rizalit) ovlivňují denní osvětlení vnitřních prostorů, které zastíňují. Nově realizované místnosti musí být navrženy tak, aby při hodnocení denního osvětlení včetně zahrnutí zastínění splňovaly požadavky kladené na denní osvětlení ve vnitřním prostoru příslušnými právními předpisy a normami. Nově navržená budova nebo jiný stínící objekt ovlivňuje však také denní osvětlení v budovách ve svém okolí. V současnosti neexistuje jednotná mezinárodní metodika, která by upravovala, jak má být hodnocen vliv nově navržených objektů na denní osvětlení stávajících vnitřních prostorů.

Hodnocení přístupu denního světla k průčelí stávajících budov se v České republice v současnosti (listopad 2019) provádí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] pomocí kritéria **činitele denní osvětlenosti D_w [%] roviny zasklení okna z vnější strany**, přičemž může být toto hodnocení doplněno také o hodnocení denního osvětlení uvnitř zastíněného prostoru. V Hongkongu je přístup světla k průčelí budovy hodnocen pomocí **činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině** (vertical daylight factor) [1]. Činitel denní osvětlenosti D_w i činitel denní osvětlenosti ve vertikální rovině zahrnují kromě oblohové složky činitele denní osvětlenosti i vnější odraženou složku od terénu a od překážek. Ve slovenské normě STN 73 0580-1 [32] a britské normě BS 8206-2 [3] je však hodnocení přístupu světla k průčelí budovy založeno na stanovení pouze **oblohové složky činitele denní osvětlenosti**.

2.5.3.1 Činitel denní osvětlenosti jako kritérium přístupu světla k průčelí budovy

Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w se stanoví podle vzorce (2.5.1) při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16. Činitel denní osvětlenosti D_w je dán součtem oblohové složky D_{ws} [%], vnější odražené složky od terénu D_{wt} [%] a vnější odražené složky od překážek D_{wp} [%] – viz obr. 2.5.2. ([8] čl. B.1) Oblohová složka činitel denní osvětlenosti $D_{w,s}$ je v případě nezastíněné

vertikální roviny rovna hodnotě 39,6 %, jak vyplývá pro oblohu CIE 16 ze vzorce (2.5.7) pro oblohovou osvětlenost horizontální nezastíněné roviny, ze vzorce (2.5.8) pro oblohovou osvětlenost vertikální nezastíněné roviny a z výpočtu hodnoty činitele denní osvětlenosti na vertikální nezastíněné rovině dle (2.5.9). ([71] str. 26 – 27, 55; [67] str. 307)

$$E_{Hs} = 2\pi \cdot L_m \int_0^{\pi/2} q \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \, d\gamma =$$

$$= 2\pi \cdot L_m \int_0^{\pi/2} \frac{3}{7} \cdot (1 + 2 \cdot \sin \gamma) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \, d\gamma = \pi L_m \quad (2.5.7)$$

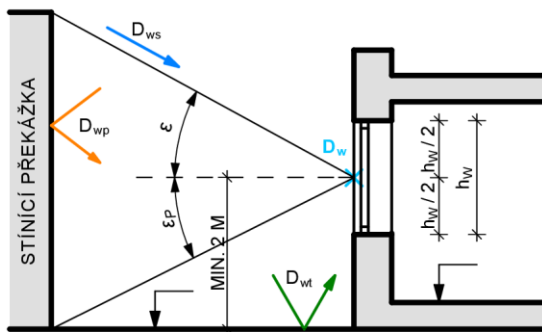
$$E_{Vs} = 2 \cdot L_m \int_0^{\pi/2} q \cdot \cos^2 \gamma \, d\gamma = 2 \cdot L_m \int_0^{\pi/2} \frac{3}{7} \cdot (1 + 2 \cdot \sin \gamma) \cdot \cos^2 \gamma \, d\gamma =$$

$$= \frac{3\pi + 8}{14} \cdot L_m \quad (2.5.8)$$

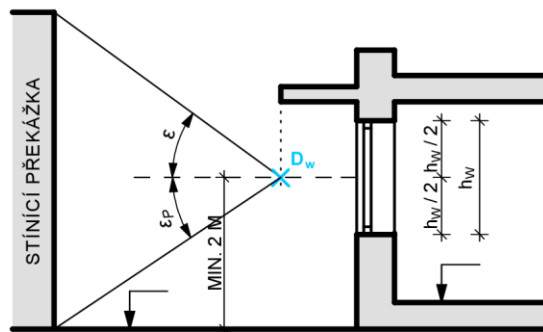
$$D_{Ws,V} = \frac{E_{Vs}}{E_{Hs}} = \frac{\frac{3\pi + 8}{14} \cdot L_m}{\pi \cdot L_m} \cdot 100 \% = 39,6 \% \quad (2.5.9)$$

- E_{Hs} [lx] – oblohová osvětlenost denním světlem venkovní nezastíněné horizontální roviny pro oblohu CIE 16;
- E_{Vs} [lx] – oblohová složka osvětlenosti denním světlem venkovní nezastíněné vertikální roviny pro oblohu CIE 16;
- $D_{Ws,V}$ [%] – oblohová složka činitele denní osvětlenosti na venkovní nezastíněné vertikální rovině pro oblohu CIE 16;
- ostatní značení dle předcházejících vzorců. ([71] str. 26 – 27, 55)

OKNO MÍSTNOSTI BEZ STÍNĚNÍ PŘEDSTUPUJÍCÍ KONSTRUKCÍ



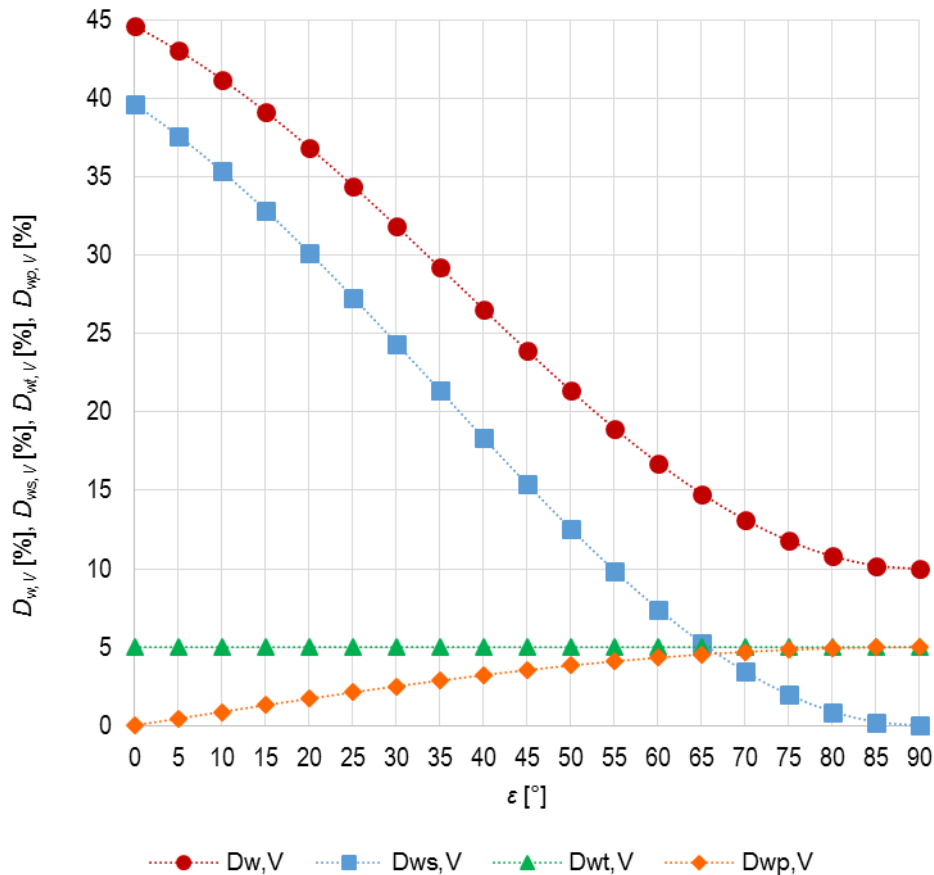
OKNO MÍSTNOSTI STÍNĚNÉ PŘEDSTUPUJÍCÍ KONSTRUKCÍ



- ✕ UMÍSTĚNÍ KONTROLNÍHO BODU PRO STANOVENÍ HODNOTY Činitele denní osvětlenosti D_w
- D_{ws} [%] OBLOHOVÁ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti D_w
- D_{wt} [%] SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti D_w ODRAŽENÁ OD TERÉNU
- D_{wp} [%] SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti D_w ODRAŽENÁ OD PŘEKÁŽKY

Obr. 2.5.2 Schéma složek činitele denní osvětlenosti D_w a umístění kontrolního bodu pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w podle normy ČSN 73 0580-1 [8] (autor podle [8] obrázek B.1)

Při zastínění vertikální roviny průběžnou nekonečně dlouhou překážkou s konstantní výškou (např. řadová zástavba) v úhlu stínění ε [rad; °] (viz obr. 2.5.2) se pro oblohu CIE 16 za předpokladu činitele jasu k_m o hodnotě 0,1 pro průběžnou stínící překážku i terén stanoví jednotlivé složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,V}$ ve vertikální rovině dle vztahů (2.5.10) až (2.5.12) a celková hodnota činitele denní osvětlenosti dle vztahu (2.5.13). Pro tyto předpoklady jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{w,V}$ ve vertikální rovině a jeho složek zobrazeny a vyčísleny na obr. 2.5.3. ([71] str. 61 – 62)



ε [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$D_{w,V}$ [%]	44,6	43,0	41,2	39,1	36,9	34,4	31,9	29,2	26,5	23,9	21,4	19,0	16,7	14,8	13,1	11,8	10,8	10,2	10,0
$D_{ws,V}$ [%]	39,6	37,6	35,3	32,9	30,2	27,3	24,4	21,3	18,3	15,4	12,5	9,9	7,4	5,3	3,4	1,9	0,9	0,2	0,0
$D_{wt,V}$ [%]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
$D_{wp,V}$ [%]	0,0	0,4	0,9	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,5	4,7	4,8	4,9	5,0	5,0

Obr. 2.5.3 Hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{w,V}$ [%] ve vertikální rovině a jeho složek v závislosti na úhlu stínění ε [°] při činiteli jasu stínící překážky i terénu $k_m = 0,1$ (autor podle vzorců uvedených v [71] str. 61 – 62)

$$D_{ws,V} = \frac{3\pi(1 - \sin \varepsilon) + 8\cos^2 \varepsilon}{14\pi} \cdot 100 \% \quad (2.5.10)$$

$$D_{wp,V} = \frac{1}{20} \sin \varepsilon \cdot 100 \% \quad (2.5.11)$$

$$D_{wt,V} = 5 \% \quad (2.5.12)$$

$$\begin{aligned} D_{w,V} &= D_{ws,V} + D_{wp,V} + D_{wt,V} = \\ &= \left(\frac{3\pi(1 - \sin \varepsilon) + 8\cos^2 \varepsilon}{14\pi} + \frac{1}{20}(1 + \sin \varepsilon) \right) \cdot 100 \% \end{aligned} \quad (2.5.13)$$

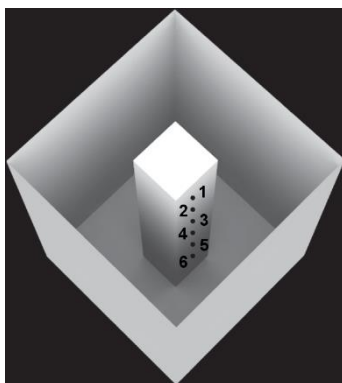
- $D_{ws,V}$ [%] – oblohová složka činitele denní osvětlenosti D_w na venkovní vertikální rovině zastíněné průběžnou stínící překážkou při úhlu stínění ε pro oblohu CIE 16;
- $D_{wp,V}$ [%] – odražená složka činitele denní osvětlenosti D_w na venkovní vertikální rovině od průběžné stínící překážky s činitelem jasu $k_m = 0,1$ při úhlu stínění ε pro oblohu CIE 16;
- $D_{wt,V}$ [%] – odražená složka činitele denní osvětlenosti D_w na venkovní vertikální rovině od terénu s činitelem jasu $k_m = 0,1$ pro oblohu CIE 16;
- $D_{w,V}$ [%] – činitel denní osvětlenosti D_w na venkovní vertikální rovině zastíněné průběžnou stínící překážkou při úhlu stínění ε pro oblohu CIE 16;
- ε [rad; °] – úhel stínění – viz obr. 2.5.2. ([71] str. 61 – 62)

Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w je ovlivněna jednak geometrií zastíňovací situace, ale také světelně technickými vlastnostmi venkovních povrchů. Činitel denní osvětlenosti D_w je hodnotícím kritériem přístupu světla k průčelí budovy dle normy ČSN 73 0580-1 [8]. Norma ČSN 73 0580-1 [8] v čl. A.12 stanovuje, že stínící překážky se mají přednostně uvažovat s činitelem jasu $k_y = 0,1$. Způsob stanovení hodnoty činitele jasu z hodnot činitele odrazu světla od překážky a terénu byl pro souvislou řadovou zástavbu publikován J. Kaňkou v článku [75] a podrobně je tato metoda popsána v knize J. Kaňky [71] na str. 31 až 36. Ačkoliv norma ČSN 73 0580-1 [8] připouští v čl. A.1 a B.3 charakterizovat světelně technické vlastnosti stínících překážek také pomocí činitele odrazu světla, není v této normě uvedeno, pro jakou hodnotu činitele odrazu světla od venkovních překážek by se výpočty činitele denní osvětlenosti měly provádět. Z počítačových programů, které jsou dnes běžně dostupné pro simulace denního osvětlení, jsou pomocí hodnoty činitele jasu definovány světelně technické vlastnosti venkovních povrchů v programu Světlo+. V dalších v současnosti běžně používaných programech pro simulace denního osvětlení (např. AGi32, BuildingDesign – moduly Wdls 5 a ČSN EN 17037, Daysim, DIALux, Radiance, ReluxDesktop, Velux Daylight Visualizer) jsou světelně technické vlastnosti venkovních povrchů definovány činitelem odrazu světla a hodnotu činitele jasu nelze do těchto programů zadat. Nově přijatá norma ČSN EN 17037 [24] alespoň stanovuje, že venkovní překážky by se ve světelně technických výpočtech měly uvažovat s hodnotou činitele odrazu světla v rozmezí 0,2 až 0,4. V současnosti (listopad 2019) není platnými normami ČSN 73 0580-1 [8] a ČSN EN 17037 [24] jednoznačně stanovena ani hodnota činitele odrazu světla od terénu, protože ČSN 73 0580-1 [8] uvádí v článku A.20

hodnotu činitele odrazu světla 0,10, zatímco dle čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24] se pro terén obvykle používá hodnota činitele odrazu světla 0,20.

Jsou-li světelně technické vlastnosti venkovních povrchů definovány pomocí činitele odrazu světla namísto činitele jasů, je hodnota činitele denní osvětlenosti D_w závislá nejen na úhlu stínění ε , ale také na úhlu ε_P [rad; °], který je vymezený spojnicí hodnoceného bodu a patou překážky dle obr. 2.5.2. U nekonečně dlouhé souvislé stínící překážky konstantní výšky dochází při konstantním úhlu stínění ε a při zvětšování úhlu ε_P ke snižování hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w , přičemž oblohová složka činitele denní osvětlenosti je konstantní a dochází ke zvyšování hodnoty vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti od stínící překážky při současném poklesu odražené složky od terénu. [84]

J. Mardaljevic na příkladu zastíněné budovy v článku [95] upozornil, že výsledky výpočtů činitele denní osvětlenosti na fasádě budovy mohou být velmi závislé na hodnotě činitele odrazu světla od stínících překážek. Například, při činiteli odrazu světla 0,2 od povrchů modelu byla v bodě 1 (viz obr. 2.5.4) zastíněné budovy hodnota činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině 30,3 %, ale při činiteli odrazu světla od povrchů modelu 0,4 byla ve stejném bodě tato hodnota 35,7 %. [95]



Obr. 2.5.4 Model J. Mardaljevice pro určení vlivu světelné reflektance na hodnotu činitele denní osvětlenosti na fasádě ([95] Figure 9, doplněna čísla bodů)

Vliv světelné reflektance stěn atrií na hodnotu činitele denní osvětlenosti stanovenou ve vertikální rovině stěn atrií analyzovali J. Du a S. Sharples v sérii článků (např. [55]; [56]). V článku [55] je uvedeno, že zvýšení hodnoty činitele odrazu stěn atrií z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,40 znamená u atria čtvercového půdorysu s poměrem výšky atria k délce jeho strany 0,5 při reflektanci terénu o hodnotě 0,20 nárůst činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině z 29,0 % na 37,5 % pro bod umístěný na stěně atria ve 30 % její šířky a ve 25 % její výšky.

Dopad zvýšení hodnot činitele odrazu světla od terénu a od průběžné stínící překážky před okny místnosti (řadová zástavba) na hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w je analyzován také autorkou dizertační práce v článku [126]. Rovněž v tomto článku je popsán nárůst hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w ve vertikální rovině fasády vlivem zvýšení reflektance venkovních povrchů. V jedné ze zastiňovacích situací hodnocených v [126] došlo zvýšením činitele odrazu světla od překážky z hodnoty 0,16 na hodnotu 0,46 společně se zvýšením

činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,10 na hodnotu 0,20 k nárůstu činitele denní osvětlenosti D_w z hodnoty 29,7 % na hodnotu 35,1 %.

V České republice je v případě činitele denní osvětlenosti D_w obvykle požadováno splnění hodnoty alespoň 32 % (viz kapitola 2.5.3.3). Na výsledcích publikovaných v člancích [55], [95] a [126] lze ilustrovat, že změna hodnoty činitele odrazu světla stínící překážky nebo terénu může změnit výsledek hodnocení činitele denní osvětlenosti D_w dle normy ČSN 73 0580-1 [8] z nevyhovujícího na vyhovující. Při výpočtech činitele denní osvětlenosti se u venkovních překážek většinou uvažuje s průměrnou hodnotou činitele odrazu světla, která se stanoví ze všech dílčích odrazivostí plochy překážky pomocí váženého průměru přes plochu. Při hodnocení reálné zastiňovací situace bývá problematické stanovit hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních překážek, neboť hodnoty činitelů odrazu světla jednotlivých částí venkovních povrchů nejsou obvykle známy. Venkovní povrchy navíc nebývají homogenní a jednotlivé části povrchu mívají odlišné světelně technické vlastnosti. Hodnoty činitele odrazu světla venkovních povrchů použité ve výpočtech hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou tedy často stanoveny posuzovatelem pouze na základě subjektivního odhadu. Světelně technické vlastnosti venkovních povrchů jsou ovšem také proměnné v čase, přičemž v praxi nebývá obvyklé dokládat například změnu barvy fasády ze světlé na tmavou posouzením vlivu na přístup světla k průčelí sousedních budov. Zahrnutí odražené složky činitele denní osvětlenosti do hodnotícího kritéria přístupu světla k průčelí budovy tak vytváří určitý prostor pro ovlivnění výsledků světelně technického hodnocení pomocí většinou odhadnutých hodnot činitelů odrazu světla venkovních povrchů.

2.5.3.2 Oblohová složka činitele denní osvětlenosti jako hodnotící kritérium přístupu světla k průčelí budovy

Přístup světla k průčelí budovy lze kromě činitele denní osvětlenosti D_w hodnotit také pomocí oblohové složky činitele denní osvětlenosti D_{ws} [%] stanovené v rovině průčelí budovy. Na tomto způsobu posouzení přístupu světla k průčelí budovy je založeno hodnotící kritérium ve slovenské normě STN 73 0580-1 [32] a v britské normě BS 8206-2 [3]. Na rozdíl od činitele denní osvětlenosti D_w je oblohová složka činitele denní osvětlenosti D_{ws} dána geometrií zastiňovací situace a není ovlivněna světelně technickými vlastnostmi venkovních povrchů.

Pro oblohu CIE 16 se na venkovní vertikální rovině oblohová složka činitele denní osvětlenosti $D_{ws,v}$ pro nekonečně dlouhou průběžnou překážku konstantní výšky stanoví dle vzorce (2.5.10). Závislost oblohové složky činitele denní osvětlenosti stanovené na venkovní vertikální rovině na úhlu stínění ε je zobrazena na obr. 2.5.3.

2.5.3.3 Požadavky na přístup světla k průčelí budovy v České republice a jejich porovnání s požadavky v zahraničí

2.5.3.3.1 Požadavky na přístup světla k průčelí budovy v České republice

Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy se provádí dle metodiky popsané v příloze B normy ČSN 73 0580-1 [8] pomocí **činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany** (viz také kapitola 2.5.3.1). Tímto hodnotícím kritériem se hodnotí přístup světla k průčelí pouze u stávajících budov. Činitel denní osvětlenosti D_w se u osvětlovacích otvorů

s šířkou menší než 10 m stanovuje v kritickém bodě umístěném v rovině průčelí budovy v ose okna a v polovině jeho výšky, přičemž minimální výška kritického bodu nad terénem je 2 m (viz obr. 2.5.2). Pokud je osvětlovací otvor stávajícího vnitřního prostoru stíněn již existující konstrukcí (např. balkon, lodžie, arkýř, rizalit), která předstupuje před fasádu s osvětlovacím otvorem hodnoceného vnitřního prostoru, umísťuje se hodnocený bod v příslušné výšce v ose okna na svislou rovinu vedenou lícem vyložení předstupující konstrukce tak, aby pro stanovení činitele denní osvětlenosti bylo eliminováno stínění kritického bodu touto konstrukcí (viz obr. 2.5.2). Má-li však být zastínění vnitřního prostoru předstupující konstrukcí předmětem posouzení (např. dodatečné přístavění balkonu nebo lodžie, dostavba nové části budovy předstupující před hodnocený osvětlovací otvor, přístavba pergoly před hodnocený osvětlovací otvor), potom se zastínění touto vlastní stínící konstrukcí při stanovení činitele denní osvětlenosti D_w uvažuje a kritický bod se umístí do roviny vnějšího líce průčelí budovy s oknem hodnoceného vnitřního prostoru. ([8] čl. B.2)

Na hodnocení přístupu světla k průčelí budovy se v České republice vztahují požadavky na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w dle tab. 2.5.1. Hodnoty úhlu stínění ε [°] uvedené v tab. 2.5.1 jsou stanoveny při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 pro svislou rovinu okna stíněnou průběžnou vertikální překážkou s konstantní výškou a nekonečnou délkou, přičemž je uvažován činitel jasu terénu i této stínící překážky k_y o hodnotě 0,1.

V případě, že hodnota činitele denní osvětlenosti v kontrolním bodě je nižší než požadovaná, hodnotí se denní osvětlení uvnitř místnosti (viz kapitola 2.5.4). Pokud je denní osvětlení uvnitř místnosti vyhovující, hodnocení přístupu světla pomocí činitele denní osvětlenosti D_w se nepoužije. ([8] čl. B.1)

Tab. 2.5.1: Požadované nejnižší hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w [%] roviny zasklení okna ([8] tabulka B.1, upraveno)

kategorie	typ posuzovaného prostoru, charakter lokality	nejnižší přípustná hodnota D_w [%]	úhel stínění ε [°] odpovídající nejnižší přípustné hodnotě D_w ¹⁾
1	prostory s vysokými nároky na denní osvětlení (denní osvětlení místností zařízení pro předškolní výchovu, učebny škol apod.)	35	24
2	běžné prostory s trvalým pobytem lidí	32	30
3	prostory s trvalým pobytem lidí v souvislé řadové zástavbě v centrech měst	29	36
4	prostory s trvalým pobytem lidí v mimořádně stíněných podmínkách historických center měst	24	45

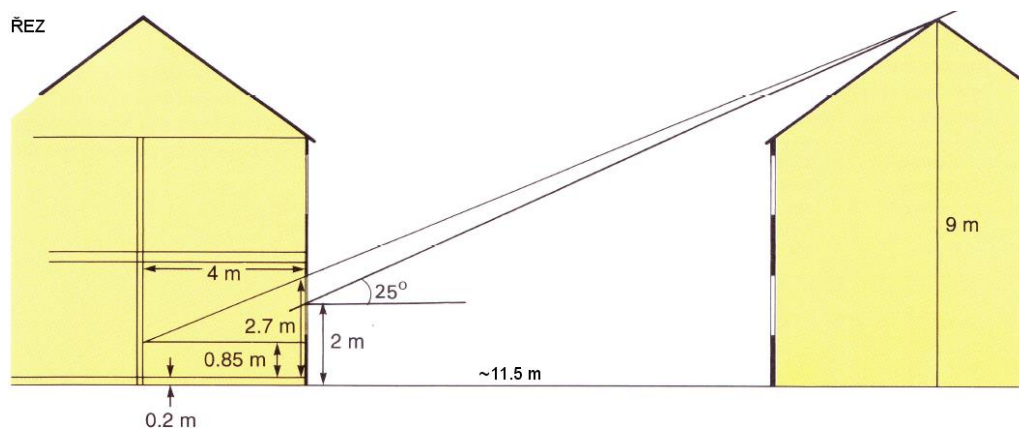
Poznámka:
O zařazení lokality do kategorie 3 a 4 rozhodují oprávněné instituce příslušné obce.

Vysvětlivka:
1) Úhel stínění ε [°] odpovídající nejnižší přípustné hodnotě D_w [%] je stanoven za podmínek rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16 pro svislou rovinu okna, která je stíněna průběžnou vertikální překážkou nekonečné délky při činiteli jasu terénu a stínící překážky $k_y = 0,1$.

2.5.3.3.2 Požadavky na přístup světla k průčelí budovy dle britské normy BS 8206-2

Podle **britské normy** BS 8206-2 [3] se pro hodnocení přístupu světla k průčelí stávajících budov používá **oblohová složka činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině** $D_{ws,V}$ [%]. Hodnota $D_{ws,V}$ se stanovuje v kritickém bodě umístěném uprostřed výšky a šířky okna v minimální výšce 2 m nad terénem. Minimální požadovaná hodnota $D_{ws,V}$ je stanovena na 27 %. Pokud by hodnota $D_{ws,V}$ byla nižší než 27 % a současně byla nižší než 0,8 násobek původní hodnoty, potom by se vnitřní prostor se zastíněným oknem mohl jevit tmavý a pro dosažení dostatečného osvětlení by bylo nutné po delší dobu využívat umělé osvětlení. ([3] čl. 8.2.1)

Minimální hodnota oblohové složky činitele denní osvětlenosti 27 % byla ve Velké Británii stanovena na základě dřívějších studií pro typické řadové domy, pro které byl stanoven maximální přípustný úhel stínění 25° – viz obr. 2.5.5 ([85] str. 69; [87]). Dle vzorce (2.5.10) odpovídá při obloze CIE 16 úhlu stínění $\varepsilon = 25^\circ$ oblohová složka činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině o hodnotě 27,3 %.



Obr. 2.5.5 Stanovení maximálního přípustného úhlu stínění 25° pro řadové rodinné domy ve Velké Británii ([85] Figure F1, přeloženo, doplněna přibližná vzdálenost mezi budovami)

V článku [87] publikoval P. Littlefair hodnoty oblohové složky činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině, které pro dané zeměpisné šířky odpovídají britskému požadavku 27 % – viz tab. 2.5.2. Stanovení těchto hodnot vychází z předpokladu, že v Londýně je dosaženo po 70 % dne od východu po západ slunce osvětlenosti horizontální nezastíněné roviny alespoň 6,3 klx, což pro oblohovou složku činitele denní osvětlenosti 27 % představuje 1,3 klx. Následně je pro danou zeměpisnou šířku stanoveno, jaká je minimální osvětlenost horizontální nezastíněné roviny po 70 % dne od východu po západ slunce. Hodnota oblohové složky činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině, která je pro danou zeměpisnou šířku ekvivalentní britským 27 %, se stanoví jako podíl hodnoty 1,3 klx a minimální osvětlenosti horizontální nezastíněné roviny po 70 % dne od východu po západ slunce v daném místě. [87]

Česká republika se nachází mezi $48,62^\circ$ (Vyšší Brod) a $51,02^\circ$ severní šířky (Lobendava). Pokud by české požadavky na přístup světla k průčelí budovy vycházely z požadované hodnoty oblohové složky 27 % dle BS 8206-2 [3], potom by se podle [87] a tab. 2.5.2 měla pro Českou republiku minimální požadovaná hodnota oblohové složky činitele denní osvětlenosti

pohybovat v rozmezí 24 % – 27 %. V české normě ČSN 73 0580-1 [8] jsou kromě minimálních hodnot činitele denní osvětlenosti D_w uvedeny také úhly stínění ε , které pro průběžnou překážku nekonečné délky odpovídají při činiteli jasu k_Y překážky a terénu o hodnotě 0,1 požadovaným hodnotám činitele denní osvětlenosti D_w – viz tab. 2.5.1. Za použití vzorce (2.5.10) lze pro úhly stínění ε uvedené v tab. 2.5.1 vyjádřit následující hodnoty oblohové složky činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině $D_{ws,V}$: kategorie 1 – $\varepsilon = 24^\circ$ – $D_{ws,V} = 27,9$ %, kategorie 2 – $\varepsilon = 30^\circ$ – $D_{ws,V} = 24,4$ %, kategorie 3 – $\varepsilon = 36^\circ$ – $D_{ws,V} = 20,7$ %, kategorie 4 – $\varepsilon = 45^\circ$ – $D_{ws,V} = 15,4$ %. Z hodnot oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{ws,V}$ a údajů v tab. 2.5.1, tab. 2.5.2 je tedy patrné, že pro kategorii 1 a 2 dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] jsou české požadavky při činiteli jasu k_Y průběžné překážky a terénu o hodnotě 0,10 ekvivalentní požadavku na minimální oblohovou složku činitele denní osvětlenosti uvedenému v BS 8206-2 [3]. V České republice však do hodnocení přístupu světla k průčelí budovy podle ČSN 73 0580-1 [8] vstupuje také odražená složka činitele denní osvětlenosti, proto mohou být v závislosti na velikosti odražené složky činitele denní osvětlenosti požadavky uvedené v ČSN 73 0580-1 [8] pro kategorie 1 a 2 limitně splněny při vyšší i nižší hodnotě oblohové složky činitele denní osvětlenosti než odpovídá britským 24 % až 27 % – více viz kapitola 2.5.3.4. Na rozdíl od České republiky však požadavky na přístup světla k průčelí budovy nejsou ve Velké Británii závazné ([66] str. 21).

Tab. 2.5.2: Úhel stínění a minimální oblohová složka činitele denní osvětlenosti odpovídající pro dané zeměpisné šířky oblohové složce činitele denní osvětlenosti 27 % ve Velké Británii ([87] table 3, přeloženo, upraveno)

zeměpisná šířka [°]	úhel stínění ε [°]	minimální oblohová složka $D_{ws,V}$ [%]	zeměpisná šířka [°]	úhel stínění ε [°]	minimální oblohová složka $D_{ws,V}$ [%]
do 40 včetně	40	18	(50 – 55>	25	27
(40 – 45>	35	21	(55 – 60>	22	29
(45 – 50>	30	24	více než 60	20	30
Poznámka: Úhel stínění ε [°] je uvažován pro souvislou nekonečně dlouhou překážku konstantní výšky.					

2.5.3.3 Požadavky na přístup světla k průčelí budovy uvedené ve slovenské normě STN 73 0580-1

Na **Slovenku** se od roku 2000 hodnotí přístup světla k průčelí budovy pomocí **ekvivalentního úhlu stínění** ε_{ekv} [rad; °] podle normy STN 73 0580-1 [32]. Ekvivalentní úhel stínění ε_{ekv} odpovídá při obloze CIE 16 stínění hodnoceného bodu nekonečně dlouhou překážkou rovnoběžnou s rovinou posuzované obvodové konstrukce s hodnoceným bodem, přičemž by tato překážka vyvolala stejné stínění hodnoceného bodu jako existující nebo navrhované překážky. Hodnocený bod se dle STN 73 0580-1 [32] umísťuje stejně jako v České republice a ve Velké Británii – tzn. v rovině vnějšího líce průčelí ve středu osvětlovacího otvoru v minimální výšce 2 m nad přilehlým terénem. Ve slovenské normě STN 73 0580-1 [32] je uvedeno, že ekvivalentní úhel stínění se stanoví pomocí diagramu na obrázku B.1 v normě STN 73 0580-1 [32] na základě počtu stíněných čtverců sítě Waldramova diagramu pro svislou rovinu, který je v normě STN 73 0580-1 [32] zobrazen na obrázku B.2. ([32] čl. 1.15, 4.4, B.1)

Ekvivalentní úhel stínění ε_{ekv} při obloze CIE 16 je na základě vzorce (2.5.10) možné vyjádřit také pomocí vzorce (2.5.14), který byl publikován v [127].

$$\varepsilon_{ekv} = \arcsin \left(\frac{-3\pi + \sqrt{9\pi^2 - 32 \cdot (0,14\pi \cdot D_{ws,V} - 3\pi - 8)}}{16} \right) \quad (2.5.14)$$

$$D_{ws,V} = \frac{396 - z}{100} \quad (2.5.15)$$

- ε_{ekv} [rad; °] – ekvivalentní úhel stínění;
- $D_{ws,V}$ [%] – oblohová složka činitele denní osvětlenosti na venkovní vertikální rovině zastíněné průběžnou stínící překážkou při úhlu stínění ε_{ekv} pro oblohu CIE 16;
- z [ks] – počet zastíněných čtverců sítě Waldramova diagramu, kdy počet čtverců pro nezastíněnou vertikální rovinu činí 396. [127]

Tab. 2.5.3: Požadované a doporučené hodnoty ekvivalentního úhlu stínění na Slovensku dle normy STN 73 0580-1 [32] (autor dle textu části 4.4 normy STN 73 0580-1 Z2 [32], publikováno v [127])

druh lokality, vnitřního prostoru, osvětlovacího otvoru	požadovaný ekvivalentní úhel stínění $\varepsilon_{ekv,N}$ [°]	doporučený ekvivalentní úhel stínění $\varepsilon_{ekv,rec}$ [°]
prostory s vysokými nároky na denní osvětlení (např. denní místnosti předškolních zařízení, učebny škol)	25	20
hlavní boční osvětlovací otvory ostatních existujících nebo navrhovaných vnitřních prostorů s trvalým pobytem lidí	30	25
hlavní boční osvětlovací otvory existujících nebo navrhovaných vnitřních prostorů v souvislé řadové zástavbě v centrálních částech větších měst ¹⁾	36	-
hlavní boční osvětlovací otvory existujících nebo navrhovaných vnitřních prostorů v souvislé řadové zástavbě v mimořádně stíněných prostorech historických měst ¹⁾	42	-
<p>Poznámka: Ve svahovitém území se sklonem terénu vyšším než 5° proti směru spádnice svahu je možné zvýšit ekvivalentní úhel stínění maximálně o 5°.</p> <p>Vysvětlivka: 1) Lze použít pouze v případě, že oprávněné instituce příslušné obce jednoznačně vymezí zóny obce se zvýšenou hustotou zástavby (především ve větších městech).</p>		

Požadované a doporučené ekvivalentní úhly stínění jsou uvedeny v tab. 2.5.5, která byla sestavena autorkou dizertační práce na základě čl. 4.4 normy STN 73 0580-1 [32]. Slovenská norma STN 73 0580-1 [32] i česká norma ČSN 73 0580-1 [8] tedy pro školské budovy, běžné prostory s trvalým pobytem lidí a řadovou zástavu v centrech měst uvádějí stejný úhel stínění. Úhel stínění uvedený v ČSN 73 0580-1 [8] však má pouze orientační charakter a je stanoven pro souběžnou překážku konstantní výšky při činiteli jasu k_y překážky a terénu 0,1. Posouzení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w podle ČSN 73 0580-1 [8] však nemusí být provedeno pouze při předpokladu činitele jasu k_y překážky i terénu 0,1, a proto se maximální výška nebo

objem budovy stanovené z hlediska přístupu světla k průčelí budovy dle české normy ČSN 73 0580-1 [8] a slovenské normy STN 73 0580-1 [32] mohou lišit – více viz kapitola 2.5.3.4. U vnitřních prostorů v mimořádně stíněných podmínkách historických center měst je slovenskou normou STN 73 0580-1 [32] stanoven ekvivalentní úhel stínění 42° a pro tento typ lokality českému požadavku na hodnotu činitele denní osvětlenosti $D_w = 24\%$ odpovídá úhel stínění 45° za podmínek uvedených v tab. 2.5.1.

2.5.3.4 Porovnání českých a zahraničních požadavků na přístup světla k průčelí budovy

Porovnání požadavků dle české normy ČSN 73 0580-1 [7], britské normy BS 8206-2 [3] a slovenské normy STN 73 0580-1 [32] bylo provedeno autorkou dizertační práce v článku [127]. V případové studii publikované v [127] byl analyzován přístup světla do kontrolního bodu umístěného na fasádě budovy ve výšce 2 m nad terénem při symetrickém stínění souběžnou budovou délky 45 m s konstantní výškou v odstupové vzdálenosti 12 m od hodnoceného bodu. Výsledkem případové studie bylo mimo jiné:

- Pro limitní splnění požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_w = 32\%$ (tj. běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle ČSN 73 0580-1 [7]) by bylo možné realizovat stínící budovu výšky 7,3 m při stínění kontrolního bodu překážkou s činitelem odrazu světla 0,17 při činiteli odrazu světla od terénu o hodnotě 0,10. Při výšce stínící budovy 7,3 m je pro tuto případovou studii dosaženo oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s,v} = 28,5\%$, což odpovídá ekvivalentnímu úhlu stínění $\varepsilon_{ekv} = 22,9^\circ$.
- Pro limitní splnění činitele denní osvětlenosti $D_w = 32\%$ (tj. běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle ČSN 73 0580-1 [7]) by bylo možné realizovat stínící budovu výšky 11,0 m při stínění kontrolního bodu překážkou s činitelem odrazu světla 0,45 při činiteli odrazu světla od terénu o hodnotě 0,20. Při výšce stínící budovy 11,0 m je pro tuto případovou studii dosaženo oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s,v} = 21,1\%$, což odpovídá ekvivalentnímu úhlu stínění $\varepsilon_{ekv} = 35,4^\circ$.
- Pro limitní splnění požadované hodnoty ekvivalentního úhlu stínění 30° (tj. většina vnitřních prostorů dle STN 73 0580-1 [32]) by bylo možné realizovat stínící budovu výšky 9,2 m (maximální výška budovy nezávisí na odražené složce činitele denní osvětlenosti).
- Pro limitní splnění požadované hodnoty oblohové složky činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině 27% dle BS 8206-2 [3] by bylo možné realizovat stínící budovu výšky 8 m (maximální výška budovy nezávisí na odražené složce činitele denní osvětlenosti). [127]

Z výše uvedených výsledků je tedy patrné, že v České republice se maximální možná výška stínící budovy pro splnění požadavků dle ČSN 73 0580-1 [7] liší v závislosti na zvolených hodnotách činitele odrazu světla od překážky a terénu, přičemž pro uvedenou případovou studii tento rozdíl činí 3,7 m. Oproti tomu dle slovenské normy STN 73 0580-1 [32] a britské normy BS 8206-2 [3] je maximální výška stínící budovy stanovena jednoznačně, protože slovenské a britské hodnotící kritérium nezávisí na odražené složce činitele denní osvětlenosti. Zatímco u stínící budovy s výškou 7,3 m jsou v případové studii ekvivalentní úhel stínění ε_{ekv} a oblohová složka $D_{w,s,v}$ nižší než požadované hodnoty dle norem STN 73 0580-1 [32] a BS 8206-2 [3], u budovy s výškou 11,0 m by v případové studii nebyly splněny požadavky slovenské normy STN 73 0580-1 [32] ani britské normy BS 8206-2 [3]. [127]

2.5.4 Požadavky na kvantum denního světla uvnitř místností

2.5.4.1 Kvantitativní hodnocení denního osvětlení uvnitř místností v České republice do 31. 8. 2019

Podle normativní úpravy platné v České republice do 31. 8. 2019 pro kvantitativní hodnocení denního osvětlení uvnitř místností s trvalým pobytem lidí platily čtyři části normy ČSN 73 0580 [7], [10], [12], [14]. Kvantitativní hodnocení denního osvětlení se provádělo pouze pomocí činitele denní osvětlenosti, který byl stanoven pro rovnoměrně zataženou oblohu s tmavým nebo světlým terénem. Hodnoty činitele denní osvětlenosti se stanovily v síti kontrolních bodů na horizontální srovnávací rovině ve výšce obvykle 850 mm nad podlahou. Krajní řady kontrolních bodů se umísťovaly do vzdálenosti 1 m od vnitřního povrchu stěn a vzájemná vzdálenost mezi body sítě se volila v rozmezí 1 m až 6 m.

Požadavky na denní osvětlení vnitřních prostorů s výjimkou obytných místností byly rozděleny do sedmi tříd zrakových činností dle tabulky 1 v normě ČSN 73 0580-1 [7]. Pro jednotlivé třídy zrakových činností byly stanoveny poměrná pozorovací vzdálenost, minimální a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti a rovnoměrnost bočního denního osvětlení u [-]. Požadavky na denní osvětlení byly dále upřesněny pro vnitřní prostory školských zařízení v tabulce 1 normy ČSN 73 0580-3 [12] a pro průmyslové budovy v tabulce 1 normy ČSN 73 0580-4 [14]. Pro kvantitativní hodnocení denního osvětlení byly rozhodující požadovaná minimální a průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti.

Ve všech bodech místnosti nebo funkčně vymezeného prostoru musela být dle čl. 4.3.2 normy ČSN 73 0580-1 [7] hodnota činitele denní osvětlenosti vyšší nebo rovna než normou stanovená minimální požadovaná hodnota činitele denní osvětlenosti D_{min} [%] dle podmínky vyjádřené vzorcem (2.5.16). V místnostech, ve kterých byl podíl horního denního osvětlení na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti alespoň 50 %, musel být dle čl. 4.3.2 normy ČSN 73 0580-1 [7] kromě minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti splněn také požadavek na průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti D_m dle podmínky vyjádřené vzorcem (2.5.17).

$$\min\{D_1; D_2; \dots; D_n\} \geq D_{min} \quad (2.5.16)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \geq D_m \quad (2.5.17)$$

- D_i [%] – hodnota činitele denní osvětlenosti v kontrolním bodě i na srovnávací rovině v hodnocené místnosti nebo ve funkčně vymezené části;
- n [ks] – celkový počet kontrolních bodů i pro stanovení činitele denní osvětlenosti;
- D_{min} [%] – minimální požadovaná hodnota činitele denní osvětlenosti dle částí 1, 3, 4 normy ČSN 73 0580 [7], [12], [14];
- D_m [%] – požadovaná průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti dle částí 1, 3, 4 normy ČSN 73 0580 [7], [12], [14].

Jako příklad hodnocení dle normy ČSN 73 0580-1 [7] lze uvést kritéria pro čtení a psaní. Tabulkou 1 normy ČSN 73 0580-1 [7] bylo čtení a psaní zaříděno do IV. třídy zrakové činnosti, pro kterou byly stanoveny následující požadavky:

- minimální hodnota činitele denní osvětlenosti $D_{min} = 1,5 \%$;
- průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti $D_m = 2,0 \%$;
- rovnoměrnost bočního denního osvětlení $u = 0,2$. ([7] tabulka 1, čl. 4.4.1)

Pro hodnocení **denního osvětlení obytných místností** v České republice platila do 31. 8. 2019 norma ČSN 73 0580-2 [10], která byla změněna změnou Z1 s účinností od 1. 9. 2019 do znění [11]. V hodnocení denního osvětlení obytných místností od 1. 9. 2019 však nedošlo k výraznějším změnám oproti stavu do 31. 8. 2019. Požadavky na denní osvětlení obytných místností jsou uvedeny v kapitole 2.5.4.2.

2.5.4.2 Kvantitativní hodnocení denního osvětlení uvnitř místností v České republice od 1. 9. 2019

V prosinci 2018 byla vydána evropská norma EN 17037 [27], která upravuje hodnocení a požadavky na příspěvek denního světla, dobu proslunění, výhled a ochranu před oslněním v členských zemích Evropského výboru pro normalizaci (dále jen „CEN“ – Comité Européen de Normalisation). Tato evropská norma byla v České republice nejprve vydána jako ČSN EN 17037 [23] v originálním anglickém znění a dne 1. 9. 2019 nabyla účinnosti norma ČSN EN 17037 [24] vydaná v českém překladu. S ohledem na zaměření dizertační práce se rešerše zaměřuje pouze na stanovení a hodnocení příspěvku denního světla v prostoru.

Příspěvek denního světla je v čl. 3.4 normy ČSN EN 17037 [24] definován jako: „*hladina osvětlenosti v prostoru dosažená na části srovnávací roviny pro určitou část doby s denním světlem*“. Dle čl. 5.1.2 normy ČSN EN 17037 [24] má vnitřní prostor vyhovující denní osvětlení, pokud v něm je „*dosaženo hodnoty cílové osvětlenosti na části srovnávací roviny uvnitř prostoru nejméně po polovinu doby s denním světlem. V prostorech se svislými nebo šikmými osvětlovacími otvory musí být na srovnávací rovině zároveň splněna hodnota minimální cílové osvětlenosti.*“

Příspěvek denního světla v prostoru se hodnotí v síti kontrolních bodů umístěných na srovnávací rovině v obvyklé výšce 850 mm nad podlahou. Krajní řady kontrolních bodů se umísťují ve vzdálenosti 0,5 m od povrchu stěn. Maximální vzdálenost mezi body sítě je dána vzorcem (2.5.18). Vzdálenost mezi body sítě se má volit taková, aby jednotlivé buňky sítě byly přibližně čtvercové. Počet bodů sítě se v příslušném rozměru stanoví jako nejbližší celé číslo rovné nebo větší než poměr d / p . ([24] čl. 5.1.2 a B.2)

$$p = 0,5 \cdot 5^{\log_{10} d} \quad (2.5.18)$$

- p [m] – maximální rozměr sítě buňky, přičemž $p \leq 10$ m;
- d [m] – delší rozměr počítané oblasti, je-li podíl delší strany ke kratší větší nebo roven 2, potom je d kratším rozměrem plochy.

Pro hodnocení příspěvku denního světla v prostoru může být dle čl. 5.1.3 normy ČSN EN 17037 [24] použita metoda založená na použití hladin denních osvětleností nebo metoda založená na hodnotě činitele denní osvětlenosti. V případě **metody používající hladiny osvětlenosti** se příspěvek denního světla stanovuje z hodnot osvětleností, které jsou stanoveny dynamickou světelnou simulací. Hladiny denních osvětleností jsou hodnotícími kritérii založenými na CBDM, neboť dle čl. B.3.3 normy ČSN EN 17037 [24] se pro tuto metodu výpočtu předpokládá:

- stanovení hodnot osvětleností od denního světla v hodinovém (nebo kratším) časovém intervalu pro oblohové a sluneční podmínky běžného roku dle klimatických údajů pro hodnocené místo;
- součástí simulace mají být pohyblivá stínící zařízení, pokud jimi je prostor vybaven.

Požadavky na příspěvek denního světla v prostoru jsou vztaheny k **polovině doby s denním světlem**. Nepřestupný rok má 8760 hodin. Právě 8760 hodinových údajů roční časové řady oblohové vodorovné osvětlenosti zahrnují soubory s klimatickými daty (např. EnergyPlus [144] nebo Meteonorm). Sestupným seřazením těchto 8760 hodinových údajů oblohových vodorovných osvětleností od nejvyšší po nejnižší se získá 4380 nejvyšších hodinových hodnot. Pro účely hodnocení dle ČSN EN 17037 [24] se těchto 4380 nejvyšších hodnot pokládá za **dobu s denním světlem**, ačkoliv soubor těchto hodnot může obsahovat i nulové hodnoty oblohové vodorovné osvětlenosti. Cílová E_T [lx] nebo minimální cílová E_{TM} [lx] hodnota osvětlenosti musí být splněny nejméně pro 50 % doby s denním světlem, což představuje 2190 hodin z doby s denním světlem (tj. 4380 hodin). ([24] čl. B.3.3, B.3.4)

Při stanovení příspěvku denního světla v prostoru pomocí metody používající osvětlenosti je pro světelnou simulaci s časovým krokem výpočtu jedna hodina vyhodnocení provedeno pro 4380 nejvyšších hodinových hodnot oblohových vodorovných osvětleností (tj. doba s denním světlem). Pro každý kontrolní bod se následně procentuálně stanoví, po jakou část doby s denním světlem je v kontrolním bodě dosaženo cílové E_T nebo minimální cílové E_{TM} osvětlenosti. V další fázi vyhodnocení se určí, v jaké části plochy hodnoceného prostoru byly splněny cílové E_T nebo minimální cílové E_{TM} osvětlenosti alespoň pro 50 % doby s denním světlem (tzn. pro 2190 hodin).

Hodnocení příspěvku denního světla v prostoru pomocí metody založené na činiteli denní osvětlenosti vychází z metody založené na osvětlenostech. Hodnoty činitele denní osvětlenosti se stanovují pro zataženou oblohu CIE 1 nebo CIE 16. Cílová D_T [%] a minimální D_{TM} [%] cílová hodnota činitele denní osvětlenosti se stanoví z cílové E_T a minimální cílové E_{TM} hodnoty osvětlenosti dle vzorců (2.5.19) a (2.5.20), které platí pro všechny osvětlovací otvory s výjimkou vodorovných osvětlovacích otvorů s difúzním zasklením (podrobnosti k vodorovným osvětlovacím otvorům s difúzním zasklením viz čl. B.3.2 a B.4 normy ČSN EN 17037 [24]). ([24] čl. B.3.2, B.4)

$$D_T = \frac{E_T}{E_{v.d.med}} \cdot 100 \% \quad (2.5.19)$$

$$D_{TM} = \frac{E_{TM}}{E_{v.d.med}} \cdot 100 \% \quad (2.5.20)$$

- D_T [%] – cílová hodnota činitele denní osvětlenosti;
- D_{TM} [%] – minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti;
- E_T [lx] – cílová osvětlenost, které má být dosaženo nejméně po polovinu doby s denním světlem ([24] čl. 5.1.2, B.1);
- E_{TM} [lx] – minimální cílová osvětlenost, které má být dosaženo nejméně po polovinu doby s denním světlem ([24] čl. 5.1.2, B.1);
- $E_{v.d.med}$ [lx] – medián oblohové vodorovné osvětlenosti, hodnoty pro jednotlivé členské země CEN dle tabulky A.3 v normě ČSN EN 17037 [24]; pro Českou republiku $E_{v.d.med} = 14900$ lx. ([24] čl. B.3.2, tabulka A.3)

Požadavky na příspěvek denního světla v prostoru se dle čl. A.1 normy ČSN EN 17037 [24] dělí na tři doporučené úrovně: minimální, střední a velká. Každé této doporučené úrovni je přiřazena v tabulkách A.1 a A.2 normy ČSN EN 17037 [24] cílová E_T a minimální cílová E_{TM} osvětlenost. Pro jednotlivé členské země CEN je pro cílové a minimální cílové osvětlenosti stanovena v tabulce A.3 odpovídající cílová D_T a minimální cílová D_{TM} hodnota činitele denní osvětlenosti. Doporučení pro příspěvek denního světla pro svislé nebo šikmé osvětlovací otvory a pro vodorovné osvětlovací otvory s jiným než difúzním zasklením platná pro Českou republiku jsou shrnuta v tab. 2.5.4 a tab. 2.5.5.

Tab. 2.5.4: Doporučení pro příspěvek denního světla v prostoru pro svislé nebo šikmé osvětlovací otvory platné pro Českou republiku dle tabulek A.1 a A.3 normy ČSN EN 17037 [24] (autor podle [24] tabulky A.1, A.3)

doporučení pro příspěvek denního světla pro svislé nebo šikmé osvětlovací otvory							
doporučená úroveň příspěvku denního světla v prostoru	cílová hodnota			minimální cílová hodnota			podíl doby s denním světlem F_{time} [%]
	osvětlenost E_T [lx]	činitel denní osvětlenosti D_T [%] ¹⁾	část prostoru F_{plane} [%] pro hodnocení	osvětlenost E_{TM} [lx]	činitel denní osvětlenosti D_{TM} [%] ¹⁾	část prostoru F_{plane} [%] pro hodnocení	
minimální	300	2,0	50	100	0,7	95	50
střední	500	3,4	50	300	2,0	95	50
velká	750	5,0	50	500	3,4	95	50

Vysvětlivka:
1) Cílová D_T a minimální cílová D_{TM} hodnota činitele denní osvětlenosti jsou stanoveny pro Českou republiku dle tabulky A.3 normy ČSN EN 17037 [24].

Tab. 2.5.5: Doporučení pro příspěvek denního světla v prostoru pro vodorovné osvětlovací otvory s jiným než difúzním zasklením platné pro Českou republiku dle tabulek A.2 a A.3 normy ČSN EN 17037 [24] (autor podle [24] tabulky A.2, A.3)

doporučení pro příspěvek denního světla pro vodorovné osvětlovací otvory				
doporučená úroveň příspěvku denního světla v prostoru	cílová hodnota			podíl doby s denním světlem F_{time} [%]
	osvětlenost E_T [lx]	činitel denní osvětlenosti D_T [%] ¹⁾	část prostoru F_{plane} [%] pro hodnocení	
minimální	300	2,0	95	50
střední	500	3,4	95	50
velká	750	5,0	95	50

Vysvětlivka:
 1) Cílová D_T a minimální cílová D_{TM} hodnota činitele denní osvětlenosti jsou stanoveny pro Českou republiku dle tabulky A.3 normy ČSN EN 17037 [24] pro vodorovné osvětlovací otvory s jiným než difúzním zasklením.

V hodnocení denního osvětlení uvnitř **obytných místností** dle normy ČSN 73 0580-2 [11] účinné od 1. 9. 2019 nedošlo k podstatným změnám ustanovení normy oproti jejímu předcházejícímu znění. V obytných místnostech, ve kterých se na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti stanovené z kontrolních bodů zvolené pravidelné sítě na vodorovné srovnávací rovině podílí alespoň z 50 % horní denní osvětlení, musí být průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti minimálně 2 %. Hodnocení pomocí průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti se provádí v celém rozsahu vnitřního prostoru nebo v jeho funkčně vymezené oblasti. ([11] čl. 3.2.1)

U ostatních obytných místností se hodnotí úroveň denního osvětlení pomocí dvou kontrolních bodů umístěných ve vzdálenosti 1 m od vnitřního povrchu bočních stěn a v polovině hloubky místnosti (avšak maximálně ve vzdálenosti 3 m od okna), přičemž musí být splněno:

- v obou kontrolních bodech je hodnota činitele denní osvětlenosti alespoň 0,7 %
- a současně průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená z obou kontrolních bodů musí být minimálně 0,9 %. ([11] čl. 3.2.2)

Pokud má obytná místnost okna ve dvou stýkajících se stěnách, pokládá se za vyhovující splnění tohoto požadavku alespoň pro jednu z obou dvojic kontrolních bodů. ([11] čl. 3.2.2)

2.5.4.3 Požadavky na kvantum denního světla uvnitř místností v zahraničí

Přijetím normy EN 17037 [27] by v současnosti měl být zajištěn stejný způsob hodnocení kvanta denního světla (příspěvku denního světla) v prostoru ve státech, které jsou uvedeny v EN 17037 jako členské země CEN. Pro příklad rozdílnosti požadavků na denní osvětlení v evropských zemích před přijetím normy EN 17037 [27] jsou dále uvedeny požadavky na denní osvětlení na Slovensku, ve Velké Británii a Dánsku.

V současnosti (listopad 2019) platí na **Slovenku** stále normy STN 73 0580-1 [32], STN 73 0580-2 [33]. Podle těchto slovenských norem pro denní osvětlení uvnitř místností platí až na drobné výjimky v podstatě shodná hodnotící kritéria a požadavky jako podle českých norem ČSN 73 0580 [7], [10], [12], [14], které platily do 31. 8. 2019.

Před přijetím EN 17037 platila v **Británii** pro hodnocení denního osvětlení norma BS 8206-2 [3]. Podle této normy se denní osvětlení uvnitř místnosti kvantitativně hodnotilo pomocí

průměrného činitele denní osvětlenosti. V normě BS 8206-2 [3] bylo v čl. 5.5 uvedeno, že místnosti v bytech a ve většině ostatních budov by měly mít průměrný činitel denní osvětlenosti alespoň 2 %. Pokud nebylo možné této hodnoty dosáhnout, udávala BS 8206-2 [3] v čl. 5.6 pro některé místnosti také minimální hodnoty průměrného činitele denní osvětlenosti, a to 1 % pro ložnice, 1,5 % pro obývací pokoje a 2,0 % pro kuchyně.

Podle **dánských stavebních předpisů** z roku 2015 bylo denní osvětlení obytné místnosti nebo místnosti určené pro práci považováno za dostatečné při splnění minimální prosklené plochy osvětlovacího otvoru místnosti nebo splněním průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti alespoň 2 % ve stanovené ploše místnosti [25]. Od roku 2018 je v Dánsku možné hodnocení denního osvětlení budov provádět také pomocí denních osvětleností, přičemž v polovině relevantní podlahové plochy místnosti má být po polovinu doby s denním světlem dosaženo osvětlenosti alespoň 300 lx [26].

Hodnocení denního osvětlení uvnitř místností je součástí také multikriteriálních hodnotících systémů budov BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) a LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). V metodice **BREEAM** 2018 ([2] str. 74 – 89) jsou dle typů budov stanoveny požadavky na minimální plochu, ve které musí být dodržena buď průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti, nebo minimální požadovaná hodnota denní osvětlenosti stanovená pomocí CBDM. Například podle BREEAM 2018 má být minimálně v 80 % plochy kanceláře splněn buď průměrný činitel denní osvětlenosti alespoň 2 %, nebo má být v této ploše po dobu 2000 hodin ročně průměrná denní osvětlenost minimálně 300 lx a minimální denní osvětlenost v nejhůře osvětleném bodě této hodnocené plochy alespoň 90 lx ([2] str. 74 – 89). Jedním z možných způsobů hodnocení denního osvětlení dle **LEED v4.1** je splnění prostorové autonomie denního osvětlení ve vymezené ploše místnosti při dosažení denní osvětlenosti alespoň 300 lx po 50 % provozní doby místnosti, přičemž se současně hodnotí také roční expozice místnosti vůči přímému slunečnímu světlu ([34] str. 141 – 144).

2.5.5 Stanovení kvanta denního světla výpočtem

Kvantum denního světla v místnosti lze stanovit výpočtem nebo měřením. Normami ČSN 73 0580-1 [8] a ČSN EN 17037 [24] není stanovena konkrétní výpočetní metoda, kterou by měly být stanovovány hodnoty činitele denní osvětlenosti nebo hladin osvětleností. Podle ČSN 73 0580-1 [8] musí metoda pro podrobný výpočet denního osvětlení umožňovat zavést následující vlivy: rozložení jasu oblohy, ztráty světla při prostupu světla propouštějícím materiálem konstrukce osvětlovacího otvoru, ztráty světla vlivem znečištění konstrukce osvětlovacího otvoru propouštějící světlo, ztráty světla vlivem konstrukce osvětlovacího otvoru nepropouštějící světlo, ztráty světla vlivem zařízení pro regulaci osvětlení, stínění venkovními překážkami, odraz světla od venkovních povrchů, mnohonásobný odraz světla od vnitřních povrchů, ztráty světla vlivem stínících konstrukcí a ztráty světla vlivem stínění zařízení ve vnitřním prostoru budovy ([8] čl. A.1).

Dříve byly světelně technické výpočty prováděny především pomocí graficko-početních metod (např. Daniljukovy diagramy, Waldramův diagram, Krochman-Kittlerův vzorec pro výpočet vnitřní odražené složky). V současnosti je hodnocení denního osvětlení realizováno především

pomocí světelně technických programů [108], přičemž se v programech pro simulaci denního osvětlení v budovách lze dnes setkat zejména s následujícími metodami výpočtu:

- **Ray-tracing** (např. Daysim, Radiance, ReluxDesktop): Princip metody je založen na sledování paprsků vyslaných od zdroje k senzoru (forward ray-tracing) nebo od senzoru ke zdroji (backward ray-tracing). Algoritmus ray-tracingu zahrnuje odraz světla, propustnost světla i lom světla. Podrobný popis metodiky světelných simulací pomocí ray-tracingu je uveden například v [82].
- **Radiosity** (např. AGi32, DIALux 4, ReluxDesktop): V metodě radiosity se předpokládá, že se v uzavřeném prostoru nacházejí pouze ideálně difúzní neprůsvitné plochy, které představují zářiče. Prostor je rozdělen na plošné elementy. Množství záření (energie), kterou daný prvek vyzařuje, se skládá z prvotní emise elementu a zároveň ze záření, které se od tohoto elementu odráží po dopadu z ostatních prvků. ([115] str. 198 – 199)
- **Fotonové mapy** (např. Velux Daylight Visualizer): V metodě fotonových map je využito obousměrné sledování paprsků. Nejprve jsou světelnými zdroji vyzařovány fotony, které se mohou od objektů scény odrazit, lomit nebo absorbovat. Pokud dojde k interakci fotonu s předmětem, uloží se do fotonové mapy pozice fotonu, jeho příchozí směr a zářivý tok. Scéna je následně vykreslována prostřednictvím zpětného sledování paprsku. Metoda je vhodná pro složitější světelné scény. ([50] str. 19; [79])
- **Kombinace** metody integrace světelných toků z malých bodových zdrojů světla pro výpočet oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti s radiační výpočtovou metodou vnitřní interreflexní složky činitele denní osvětlenosti (např. Světlo+) ([71] str. 75).

Algoritmy výpočetních metod jsou však v jednotlivých programech používány v různých modifikacích a obvykle tyto algoritmy nejsou výrobcí programů poskytovány ([89] str. 13). Přestože dva programy používají totožnou metodu výpočtu, nemusí se jejich výsledky pro identicky zadanou situaci shodovat. Navíc i uživatel má v mnohých programech (např. Daysim, Radiance, ReluxDesktop) možnost ovlivnit výsledky celou řadou nastavení. Optimální nastavení výpočtu a přesnost výpočtů programu se přitom může lišit dle hodnocené situace ([6] čl. 7.1). V praxi se tak lze setkat se spory týkajícími se zastínění stávajících budov, kdy strany sporu argumentují posouzeními denního osvětlení se vzájemně diametrálně odlišnými výsledky [76]. V případě, že obě taková posouzení respektují požadavky normy, může být problematické stanovit, které z posouzení denního osvětlení obsahuje korektní hodnoty.

2.5.5.1 Validování výpočetních programů

Validování výpočetních programů pro stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti lze provést následujícími metodami:

- porovnání výsledků světelně technických simulací pro analyticky řešitelnou situaci s výsledky **analytického řešení**;
- **vzájemné porovnání výsledků výpočtů programů pro totožnou hodnocenou situaci**;
- porovnání výsledků světelně technických simulací s výsledky **měření**. ([106] str. 252)

První způsob **validování světelně technických simulačních programů pomocí analytických vzorců** je použit v disertační práci F. Maamariho [89]. S využitím analytických vzorců publikovaných P. Tregenzou [120] navrhl F. Maamari několik jednoduchých testovacích situací, pomocí kterých má být možné ověřit přesnost výpočtů denního osvětlení pro několik základních modelů. Mezinárodní organizace pro osvětlování CIE velkou část Maamariho disertační práce v roce 2006 převzala do metodiky CIE 171: 2006 [6], která byla použita pro validování řady světelně technických programů (např. AGi32 [122], NVIDIA Iray [123], Velux Daylight Visualizer [80]). F. Vajkay et al. v článku [131] však upozornili, že metodika CIE 171: 2006 [6] při testování programů z hlediska denního osvětlení vychází z nereálných předpokladů (např. nulová tloušťka ostění testovací místnosti, vnitřní povrchy testovací místnosti s nulovým činitelem odrazu světla). L. Gábrová et al. v článku [130] porovnali vzájemné rozdíly ve výsledcích výpočtů provedených pomocí šesti světelně simulačních metod pro dvě testové situace metodiky CIE 171: 2006 [6] a pro dvě mírně modifikované testové situace. Modifikace testových situací spočívala zejména v uvažování vnitřních povrchů hodnocené místnosti s nenulovými činiteli odrazu světla a v uvažování nenulové tloušťky ostění okna. Tato modifikace testových situací však v referenčních bodech znamenala výrazně odlišné relativní rozdíly zjištěné mezi minimální a maximální hodnotu činitele denní osvětlenosti, které byly vypočteny porovnávanými metodami světelných simulací pro testové situace dle CIE 171: 2006 [6] a pro modifikované testové situace. Závěrem tohoto publikovaného porovnání bylo konstatování, že na základě testových situací metodiky CIE 171: 2006 [6] vhodných pro ověření přesnosti programů pro simulace denního osvětlení je velmi obtížné až nemožné stanovit, jaká může být přesnost programu při reálných podmínkách. [130] Metodika CIE 171 [6] je z hlediska ověření výpočtů denního osvětlení blíže popsána a dále analyzována v kapitole 5.3.

Příkladem **validace pomocí porovnání výsledků výpočtů různých programů pro totožnou hodnocenou situaci** může být studie Danish Building Research Institute [50]. Tato studie se zabývá komparací hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených devíti světelně technickými programy pro pět modelových situací. Největší rozdíly v hodnotách průměrného činitele denní osvětlenosti byly zjištěny pro dvě komplexnější situace. Jednou z těchto situací byla místnost stíněná překážkou před oknem, kdy vzájemný relativní rozdíl v průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti stanovený porovnávanými programy činil 28,1 %. [50]

Validování přesnosti světelně technických výpočtů pomocí porovnání s výsledky měření lze provést měřením in-situ nebo měřením na modelu. Na základě porovnání s měřeními byla mnohokrát ověřena vysoká přesnost výsledků programu Radiance. Například J. Mardaljevic uvádí, že programem Radiance byly stanoveny osvětlenosti v místnosti s relativní chybou mezi $\pm 5\%$ a $\pm 25\%$ ([94]; [95]). Validace programu Radiance z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině stěny vnitrobloku byla provedena například také J. Du et al. v rámci článku [55], přičemž maximální relativní chyba 13 % byla zjištěna u bodu umístěného v blízkosti rohu atria. Z programů pro modelování denního osvětlení na základě klimatických dat byl několikrát validován program Daysim (viz např. [109]; [110]; [111]). Na základě provedených validací je přesnost programu Daysim pro dynamické simulace denního osvětlení považována za akceptovatelnou s ohledem na citlivost lidského oka na změny osvětleností během dne ([106] str. 254).

2.5.6 Stanovení kvanta denního světla měřením

2.5.6.1 Měření in-situ

Hodnotu činitele denní osvětlenosti lze při měření in-situ stanovit pomocí vzorce (2.5.1) ze současně změřených osvětleností v kontrolním bodě a na venkovní horizontální nezastíněné rovině při podmínce rovnoměrně zatažené oblohy. Oblohu lze pro účely měření dle čl. 4.6.2.3 a 4.6.2.4 normy ČSN 36 0011-2 [18] považovat při tmavém terénu za rovnoměrně zataženou, pokud ve čtyřech svislých rovinách, rovnoběžných i kolmých s osami osvětlovacích otvoru platí současně:

- poměr jasů v elevačním úhlu 15° vůči jasů v zenitu je 0,3 až 0,6;
- poměr jasů v elevačním úhlu 45° vůči jasů v zenitu je 0,7 až 0,85;
- rozptyl hodnot jasů oblohy ve svislých rovinách v jednotlivých elevačních úhlech 15° a 45° nemá být v kontrolovaném rozsahu oblohy větší než 10 % od průměrné hodnoty.

Splnění výše uvedených podmínek měření jasů se stanovuje ve čtyřech navzájem kolmých rovinách. U jednostranně osvětlených místností je ale dostačující, aby byla kontrola jasů provedena pouze pro polorovinu oblohy, která ovlivňuje denní osvětlení hodnocené místnosti. Jas oblohy je nutné kontrolovat na začátku a na konci měření. Při déle trvajících měření se splnění podmínek jasů oblohy kontroluje také v průběhu probíhajícího měření. ([18] čl. 4.6.2.1, 4.6.2.2)

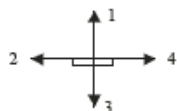
Dle čl. 4.6.2.4 normy ČSN 36 0011-2 [18] nemá být rozptyl hodnot jasů ve svislých rovinách v jednotlivých elevačních úhlech 15° a 45° větší než 10 % od průměrné hodnoty. Rozptyl jasů by však měl mít jednotku [$\text{cd}^2 \cdot \text{m}^{-4}$] a nikoliv procenta, jak uvádí [18]. Z publikovaného článku J. Slezáka [116], který je zpracovatelem normy [18], lze však například z tabulky na obr. 2.5.6 dovodit, že místo pojmu rozptyl měl v normě být spíše použit pojem relativní odchylka.

Kontrola jasů oblohy při měření denního osvětlení:

Před měřením:							
Elev. úhel	Směr	1	2	3	4	Průměr	Limit
90°	L [cd/m^2]					---	---
	L [cd/m^2]					---	---
45°	$\delta 1$ [-]					---	0,7 - 0,85
	$\delta 2$ [%]					---	10%
15°	L [cd/m^2]					---	---
	$\delta 1$ [-]					---	0,3 - 0,6
	$\delta 2$ [%]					---	10%

$\delta 1$ [-] - poměr $L_{45} (15) / L_{90}$

$\delta 2$ [%] - chyba jasů v příslušném směru k průměrné hodnotě jasů ve všech čtyřech směrech



Obr. 2.5.6 Kontrola jasů oblohy při měření denního osvětlení [116]

Při měření osvětlenosti pro stanovení činitele denní osvětlenosti je nutné zajistit současný odečet nebo záznam dat v kontrolních bodech a na horizontální nezastíněné rovině. Alternativně lze osvětlenost venkovní nezastíněné roviny stanovit přibližně také některým z postupů dle čl. 4.6.3.3 normy ČSN 36 0011-2 [18].

Obloha s poměrem jasů na spodní přípustné hranici dle normy ČSN 36 0011-2 [18] bývá nazývána minimální, zatímco obloha s poměrem jasů na horní přípustné hranici dle normy ČSN 36 0011-2 [18] bývá označována jako maximální. Oproti rovnoměrně zatažené obloze s rozložením jasu přesně dle vzorce (2.5.2) lze při tzv. maximální obloze předpokládat vyšší hodnoty činitele denní osvětlenosti a naopak při tzv. minimální obloze nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti. Se vzrůstajícím úhlem stínění dochází ke zmenšování odchylky v hodnotách činitele denní osvětlenosti stanovených při minimální nebo maximální obloze oproti rovnoměrně zatažené obloze s rozložením jasu, které odpovídá vzorci (2.5.2). [74]

Z hlediska CBDM se provádí validace programů pro různé typy obloh v průběhu roku. Způsob provedení měření in-situ (případně na modelu v měřítku 1:1) za účelem ověření osvětleností od denního světla v místnosti v průběhu delšího časového období je popsán například v člancích [109] a [110].

2.5.6.2 Měření na modelu

Model pro měření denního osvětlení musí být sestaven ve vhodném měřítku, kdy norma ČSN 36 0011-2 [18] uvádí měřítko 1:10, ale v zahraniční literatuře lze nalézt i měření na modelu v měřítku 1:40 [86]. Volba měřítka se odvíjí od parametrů umělé oblohy, kde maximální půdorysný rozměr modelu nesmí překročit jednu pětinu průměru oblohy ([18] čl. 4.6.7.4). Při volbě měřítka modelu je dále vhodné vzít v úvahu velikost a umístění měřících zařízení vzhledem k velikosti modelu. Model je nutné zkonstruovat tak, aby do něj nevnikalo světlo spárami. Další zásady pro konstrukce modelů pro měření denního osvětlení jsou popsány například v publikacích [45], [86] a [99] str. 18. Při měření na modelu pod přírodní oblohou se postupuje obdobně, jak bylo popsáno výše u měření in-situ.

3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Cíl 1: Validování programu Daysim z hlediska stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze s gradací jasu od horizontu k zenitu 1:3.

Cíl 2: Sestavení diagramů pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany pro vybrané stínící překážky a vybrané hodnoty činitele odrazu světla od překážek a terénu.

Cíl 3: Analýza vlivu rozdílného umístění exteriérových překážek a rozdílné světelné reflektance venkovních povrchů na kvantum denního světla v zastíněné místnosti v závislosti na hodnotách činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany.

Cíl 4: Návrh doporučení na úpravu hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.

3.1 DŮVODY VOLBY CÍLŮ PRÁCE

3.1.1 Cíl 1: Validování programu Daysim z hlediska stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze s gradací jasu od horizontu k zenitu 1:3

Stanovení cíle 1 vyplynulo z volby programu, kterým je možné provést simulace denního osvětlení pro naplnění cíle 3. Kromě činitele denní osvětlenosti byl u hodnocených místností analyzován také vliv stínících překážek na hladiny osvětleností, které jsou stanoveny z klimatických dat pro celý rok. Pro simulace denního osvětlení v dizertační práci proto byl zvolen program **Daysim 3.1b** [141] (dále jen „Daysim“), jehož přesnost z hlediska simulací denního osvětlení založených na klimatických datech byla validována několika zahraničními studii (viz např. [109], [110], [111]). Z hlediska činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze však pro program Daysim dle dostupných zdrojů byla publikována pouze validace [39], která se zabývá jen přesností stanovení oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro několik testových situací dle metodiky CIE 171: 2006 [6]. Aby mohl být program Daysim v dizertační práci použit nejen pro stanovení hladin osvětleností, ale také pro stanovení činitele denní osvětlenosti, bylo nutné provést validaci programu Daysim z hlediska stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze s gradací jasu od horizontu k zenitu 1:3.

3.1.2 Cíl 2: Sestavení diagramů pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany pro vybrané stínící překážky a vybrané hodnoty činitele odrazu světla od překážek a terénu

Přístup světla k průčelí budovy je v České republice dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] hodnocen pomocí činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany. V současnosti je v normě ČSN 73 0580-1 [8] uveden diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění pouze pro nekonečně dlouhou překážku konstantní výšky při uvažování činitele jasu k_y překážky i terénu o hodnotě 0,1. Hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w však v souladu s ČSN 73 0580-1 [8] nemusí být stanoveny pouze pro překážku a terén

s činitelem jasu $k_y = 0,1$, ale pro definování světelně technických vlastností překážek norma ČSN 73 0580-1 [8] připouští i použití činitele odrazu světla. Definování světelně technických vlastností povrchů pomocí činitele odrazu světla místo činitele jasu je dnes obvyklé ve většině programů pro simulaci denního osvětlení budov (např. AGi32, BuildingDesign, Daysim, DIALux, Radiance, ReluxDeskTop, Velux Daylight Visualizer). Také z hlediska praxe se jeví obvyklejší pracovat s činitelem odrazu světla než s činitelem jasu, protože hodnoty činitele odrazu světla jsou některými výrobci uváděny například u fasádních nátěrů nebo stavebních skel. Reálná aplikovatelnost diagramu závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění, který je uveden v příloze B normy ČSN 73 0580-1 [8], se tedy jeví z hlediska potřeb praxe jako velmi omezená. V rámci dizertační práce jsou pro typické stínící překážky (řadová zástavba, čtvercový vnitroblok a průběžný balkon) a typické hodnoty činitele odrazu světla od venkovních povrchů sestaveny diagramy závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na kritériích definujících stínící překážku (tj. úhel stínění nebo index atrie).

3.1.3 Cíl 3: Analýza vlivu rozdílného umístění exteriérových překážek a rozdílné světelné reflektance venkovních povrchů na kvantum denního světla v zastíněné místnosti v závislosti na hodnotách činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany

Denní osvětlení uvnitř místnosti stíněné venkovními překážkami je dáno parametry stínících překážek (např. tvar, výška, světelně technické vlastnosti povrchů), parametry terénu (např. sklon, činitel odrazu) a parametry samotné zastíněné místnosti (např. velikost a tvar místnosti, velikost a umístění okna, světelně technické vlastnosti okna). V článku J. Kaňky [73] je uvedeno, že činitel denní osvětlenosti D_w je „kritériem, jehož účelem je rozlišit, do jaké míry se na nevyhovujícím stavu osvětlení podílí vnější stínění a do jaké míry je způsobeno nevhodným uspořádáním posuzované místnosti a jejího osvětlovacího otvoru.“ Autorka dizertační práce se v článku [128] zabývala porovnáním hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených simulací v programu Wdls 4.1 ve dvou identických místnostech, z nichž jedna byla stíněna balkonem nad oknem a druhá řadovou zástavbou. Ačkoliv u obou hodnocených místností bylo pro shodné umístění kontrolního bodu dosaženo činitele denní osvětlenosti D_w o hodnotě 32 %, byly uvnitř místnosti stíněné balkonem splněny požadavky na denní osvětlení obytných místností ve smyslu čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], ale místnost stíněná řadovou zástavbou již požadavky na denní osvětlení uvnitř obytných místností nesplňovala [128]. Z tohoto porovnání tedy vyplývá, že denní osvětlení uvnitř identické místnosti při shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w může být odlišné v závislosti na umístění venkovní stínící překážky.

V rámci dizertační práce je provedena analýza kvanta denního světla uvnitř identických místností stíněných rozdílnými překážkami v závislosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w . Kvantum denního světla v místnosti je hodnoceno pomocí činitele denní osvětlenosti i pomocí hladin osvětleností, které jsou stanoveny na základě klimatických dat pro celý rok. **V rámci této analýzy bude ověřeno, zda je možné sestavit regresní modely závislosti zvolených hodnotících kritérií denního osvětlení uvnitř místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w .**

3.1.4 Cíl 4: Návrh doporučení na úpravu hodnocení přístupu světla k průčelí budovy

Na základě syntézy poznatků z provedené analýzy denního osvětlení zastíněných budov je navržena úprava hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.

3.2 PROSTŘEDKY KE SPLNĚNÍ CÍLŮ PRÁCE

Pro měření denního osvětlení byly použity přístroje ve vlastnictví Ústavu pozemního stavitelství Vysokého učení technického v Brně. Přístroje použité v rámci jednotlivých měření jsou specifikovány v kapitolách 5.4, 5.5.

Simulace denního osvětlení byly provedeny v programu Daysim 3.1b [141]. Jedná se o open source freeware software, který je dostupný na <https://daysim.ning.com/page/download>. Zastiňovací situace byly modelovány v programu Google SketchUp verze 6.4.247 [140] a export geometrie do programu Daysim byl proveden pomocí doplňku SU2DS (freeware) [142]. Data získaná z měření a simulací denního osvětlení byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel [143].

4 METODIKA

Dizertační práce kromě analýzy denního osvětlení zastíněných budov obsahuje také validaci programu Daysim z hlediska hodnot činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze. K validaci programu Daysim bylo použito mimo jiné i měření na modelu zastíněné místnosti. Dále uvedené body č. 1 – 4 metodiky jsou společné pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov a pro validaci programu Daysim pomocí měření na modelu.

Pro dosažení cílů práce byla zvolena následující metodika:

4.1 PROVEDENÍ LITERÁRNÍ REŠERŠE

Literární rešerše byla provedena v kapitole 2 se zaměřením na denní osvětlení zastíněných budov, hodnocení denního osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti a pomocí kritérií založených na klimatických datech, validaci programů pro simulace denního osvětlení budov. Z této rešerše vyplývá z hlediska denního osvětlení zastíněných budov mimo jiné:

- Pro hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí činitele denní osvětlenosti D_w nejsou normou ČSN 73 0580-1 [14] dány jednoznačné okrajové podmínky z hlediska hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů. Kritérium činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany může být značně ovlivněno hodnotami činitelů odrazu světla od venkovních povrchů.
- Ve slovenské normě STN 73 0580-1 [32] a britské normě BS 8206-2 [3] se pro hodnocení přístupu světla k průčelí budovy používají hodnotící kritéria, která nezahrnují vnější odraženou složku činitele denní osvětlenosti.
- Nově přijatou normou ČSN EN 17037 [24] bylo zavedeno hodnocení denního osvětlení uvnitř budov nejen pomocí činitele denní osvětlenosti, ale také pomocí hladin osvětlenosti stanovených na základě klimatických dat pro celý rok.
- Dle dostupných zdrojů doposud nebylo publikováno porovnání hodnocení denního osvětlení uvnitř zastíněných místností pomocí činitele denní osvětlenosti a pomocí hladin osvětleností s využitím klimatických dat pro Prahu ve smyslu hodnocení dle normy ČSN EN 17037 [24].

4.2 STANOVENÍ CHARAKTERISTICKÝCH ZPŮSOBŮ ZASTÍNĚNÍ BUDOV

Denní osvětlení místností může být ovlivňováno celou řadou venkovních překážek a jejich vzájemných kombinací. Pro analýzy a validace v této dizertační práci byly jako stínící překážky zvoleny vertikální průběžná překážka před oknem (např. řadová zástavba), horizontální průběžná překážka nad oknem (např. průběžný balkon) a vnitroblok se čtvercovým půdorysem. Jedná se o tři typy překážek, které vystihují základní způsoby zastínění budov.

Kromě umístění stínících překážek je zkoumán také vliv světelné reflektance venkovních povrchů na hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místností a v rovině zasklení okna z vnější strany. Z tohoto důvodu jsou stínící překážky a terén uvažovány variantně s různými hodnotami činitele odrazu světla.

Konkrétní parametry stínících překážek a venkovních povrchů jsou uvedeny v kapitole 5.4.1 pro měření na modelu a v kapitole 7.1 pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov provedenou na základě dat ze světelných simulací. Při definování modelů zastínění v kapitole 7.1 bylo využito poznatků z měření na modelu a v kontinuitě na měření na modelu byly navrženy obdobné způsoby zastínění jako při měření na modelu. Rozdílné parametry stínících překážek v kapitole 5.4.2 a 7.1 jsou dány konstrukcí modelu, světelně technickými vlastnostmi dostupných materiálů pro výrobu modelu, omezeným časem pro měření na modelu a úpravou analýzy denního osvětlení budov v kapitole 7 v návaznosti na normu ČSN EN 17037 [24], která byla schvalována a přijata v průběhu zpracování dizertační práce.

4.3 NÁVRH MÍSTNOSTI PRO ANALÝZU DENNÍHO OSVĚTLENÍ BUDOV

Obdobně jako stínící překážky i místnosti jsou rozměrově a tvarově velmi různorodé. Vnitřní prostředí budov bývá často analyzováno pomocí modelových místností obdélníkového půdorysu s šířkou 3 m až 5 m a hloubkou 5 m až 8 m [113]. Například J. Kaňka v článku [72] navrhl limitní hodnoty osvětlenosti roviny okna pro obytné místnosti na příkladu místností půdorysného tvaru formátu A4, přičemž pro místnost s šířkou 4 m bylo uvažováno s hloubkou 5,66 m. V knihách C. Reinharta [103], [104] je pro simulace denního osvětlení použita místnost šířky 3,6 m, hloubky 8,2 m se světlou výškou 2,8 m

Denní osvětlení bývá často hodnoceno pro obytné místnosti a kanceláře. ČSN 73 4301 [21] uvádí, že minimální šířka obytné místnosti nesmí být menší než 1,95 m a u obývacího pokoje by šířka neměla být menší než 3,3 m. V praxi je dnes poměrně obvyklé navrhovat obývací pokoje s šířkou okolo 4 m, jejichž hloubka bývá v rozmezí 4 m až 8 m. Minimální světlá výška obytné a pobytové místnosti je 2,6 m s výjimkou obytných místností v rodinných domech a obytných a pobytových místností v podkroví (§ 10, § 40 odst. 2 [35]).

Na základě těchto poznatků byla pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov navržena **místnost následujících rozměrů: šířka 4 m, hloubka 6 m, světlá výška 2,6 m** (viz obr. 5.4.2, obr. 7.2.1). Svými rozměry hodnocená místnost může představovat obytnou místnost i kancelář. Větší hloubka hodnocené místnosti byla zvolena, protože pro analýzy denního osvětlení zastíněných budov se jeví jako vhodnější uvažovat s místností spíše hlubší. U místnosti s větší hloubkou je totiž více znatelný odlišný vliv různých typů stínících překážek na denní osvětlení uvnitř místnosti. Konkrétní hloubka místnosti 6 m byla zvolena také pro to, že hodnocení denního osvětlení obytných místností s bočním denním osvětlením se provádí pomocí dvou bodů umístěných v polovině hloubky místnosti, ale v maximální vzdálenosti 3 m od okenní stěny dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11]. V případě hodnocení denního osvětlení obytné místnosti jsou tak hodnocené body umístěny uprostřed hloubky místnosti při maximální hloubce místnosti právě 6 m.

Konkrétní parametry hodnocené místnosti (např. velikost a umístění okna, světelně technické vlastnosti povrchů místnosti, rozmístění kontrolních bodů v místnosti) jsou uvedeny v kapitole 5.4.3 pro měření na modelu a v kapitole 7.2 pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov provedenou pomocí světelných simulací. Při definování hodnocené místnosti v kapitole 7.2 bylo využito poznatků z měření na modelu a pro analýzy denního osvětlení pomocí světelných simulací byla provedena zejména úprava rozměrů okna hodnocené

místnosti. Rozdílné parametry hodnocené místnosti v kapitole 5.4.3 a 7.2 jsou dány také konstrukcí modelu a světelně technickými vlastnostmi materiálů, které byly dostupné pro výrobu modelu.

4.4 STANOVENÍ HODNOTÍCÍCH KRITÉRIÍ PRO ANALÝZU DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Denní osvětlení budov se tradičně hodnotí pomocí činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze. V posledních letech se však stále více prosazuje hodnocení denního osvětlení založené na ročních klimatických datech pro dané místo s uvažováním konkrétní orientace oken ke světovým stranám. Také v normě ČSN EN 17037 [24] se příspěvek denního světla v místnosti hodnotí pomocí činitele denní osvětlenosti nebo pomocí hladin osvětleností, přičemž hodnocení pomocí hladin osvětleností se provádí na základě ročních klimatických dat pro dané místo.

Analýza denního osvětlení zastíněných budov je v dizertační práci provedena pomocí činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany ve smyslu přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8]. Dále je denní osvětlení zastíněných budov analyzováno pomocí kritérií, která popisují kvantum denního světla uvnitř místnosti z hlediska činitele denní osvětlenosti a hladin osvětleností ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24]. Podrobně jsou hodnotící kritéria popsána v kapitole 7.3.

4.5 VÝBĚR PROGRAMU PRO ANALÝZU DENNÍHO OSVĚTLENÍ BUDOV

Výběr programu pro simulace denního osvětlení se odvíjí od volby hodnotících kritérií. Ve zvoleném světelně simulačním programu musí být možné spočítat jak činitel denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze, tak hladiny osvětleností na základě ročních klimatických dat pro vybrané místo v České republice. V návaznosti na zvolená hodnotící kritéria byl pro simulace denního osvětlení vybrán program Daysim [141], který byl speciálně vyvinut pro dynamické simulace denního osvětlení na základě ročních klimatických dat. Výpočet denních osvětleností v průběhu celého roku se v programu Daysim provádí za využití modelu oblohy dle R. Perezze [101] a koeficientů denního osvětlení dle P. Tregenzy a I. M. Waterse [118] ([107] str. 21, 30). Z hlediska dynamických simulací denního osvětlení byl program Daysim již validován řadou prací (např. [109]; [110]; [111]).

V programu Daysim je také možné stanovit hodnoty činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 ([107] str. 20). Dle dostupných zdrojů však přesnost hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených při rovnoměrně zatažené obloze byla v programu Daysim doposud hodnocena pouze v článku [39], a to pouze pro oblohovou složku činitele denní osvětlenosti pomocí několika testových situací metodiky CIE 171: 2006 [6]. V rámci dizertační práce proto bylo provedeno ověření přesnosti programu Daysim z hlediska stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze.

4.6 VALIDACE PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI PŘI ROVNOMĚRNĚ ZATAŽENÉ OBLOZE

Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené světelnou simulací v programu Daysim při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 byly validovány pomocí komparace a evaluace vypočtených hodnot s hodnotami referenčními. Validace programu Daysim z hlediska činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 je provedena prostřednictvím:

- 1) komparace a evaluace hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených světelnou simulací v programu Daysim s **referenčními hodnotami dle dokumentu CIE 171: 2006 [6]** – kapitola 5.3;
- 2) komparace a evaluace hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených světelnou simulací v programu Daysim s hodnotami zjištěnými pomocí **měření na modelu** při rovnoměrně zatažené obloze – kapitola 5.4;
- 3) komparace a evaluace hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených světelnou simulací v programu Daysim s hodnotami zjištěnými pomocí **měření in-situ** – kapitola 5.5.

Metodika validace včetně zvolených hodnotících kritérií a metodika měření na modelu a in-situ je popsána v kapitole 5.

4.7 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A SIMULACÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI ZJIŠTĚNÝCH PRO MODEL ZASTÍNĚNÉ MÍSTNOSTI Z HLEDISKA DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Pro validaci programu Daysim v kapitole 5.4 je použit model místnosti stíněné rozdílnými venkovními překážkami při použití různých kombinací činitelů odrazu světla od venkovních povrchů. Výsledky měření a výpočtů činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze stanovené pro model zastíněné místnosti v kapitole 5.4 lze kromě validace programu Daysim použít také pro vyhodnocení poznatků, které se týkají denního osvětlení zastíněných budov z hlediska hodnot činitele denní osvětlenosti D_w a činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti.

4.8 SIMULACE DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZA ÚČELEM ANALYZOVÁNÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ UVNITŘ ZASTÍNĚNÉ MÍSTNOSTI

V programu Daysim byly provedeny simulace denního osvětlení zastíněných budov, přičemž bylo pro dynamické simulace denního osvětlení využito klimatických dat pro Prahu z databáze programu EnergyPlus [144]. Konkrétní parametry simulací denního osvětlení jsou uvedeny v kapitole 7.4.

4.9 SESTAVENÍ DIAGRAMŮ PRO STANOVENÍ HODNOTY ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI D_w

Na základě regresní analýzy hodnot činitele denní osvětlenosti D_w stanovených simulacemi denního osvětlení v programu Daysim byly pro jednotlivé způsoby zastínění hodnocené

místnosti sestaveny diagramy závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na parametru charakterizujícím zastínění danou překážkou.

4.10 ANALÝZA DENNÍHO OSVĚTLENÍ UVNITŘ ZASTÍNĚNÝCH MÍSTNOSTÍ V ZÁVISLOSTI NA HODNOTĚ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI D_w

Světelnými simulacemi v programu Daysim byly pro posuzované modely zastínění stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w a dále hodnoty kritérií, která popisují kvantum denního osvětlení uvnitř místnosti z hlediska činitele denní osvětlenosti a hladin osvětleností ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24]. Hodnoty kritérií popisujících kvantum denního osvětlení v místnosti byly dále analyzovány v závislosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w , přičemž bylo ověřováno, zda je možné **sestavit regresní modely závislosti kritérií popisujících kvantum denního osvětlení v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w .**

4.11 NÁVRH ÚPRAVY HODNOCENÍ PŘÍSTUPU SVĚTLA K PRŮČELÍ BUDOVY

Na základě syntézy poznatků zjištěných v rámci analýzy denního osvětlení zastíněných budov je navržena úprava hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.

Poznámka k dalšímu členění dizertační práce

Validace programu Daysim je v dizertační práci provedena z důvodu ověření přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim při rovnoměrně zatažené obloze pro použití tohoto programu pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov. V dizertační práci je tedy zařazena nejprve kapitola 5 obsahující validaci programu Daysim a následují kapitoly zabývající se analýzou denního osvětlení zastíněných budov.

5 VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI PŘI ROVNOMĚRNĚ ZATAŽENÉ OBLOZE

Ověření přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 bylo provedeno pomocí:

- 1) porovnání výpočtem stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti pro testové situace 5.9 až 5.14 dle metodiky CIE 171: 2006 [6] s referenčními hodnotami uvedenými v této metodice;
- 2) porovnání výpočtem stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti s referenčními hodnotami stanovenými měřením na modelu pod přírodní rovnoměrně zataženou oblohou;
- 3) porovnání výpočtem stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti s referenčními hodnotami stanovenými měřením in-situ ve dvou místnostech.

5.1 PARAMETRY VÝPOČTU

Světelné simulace byly v programu Daysim realizovány metodou ray-tracing pro simulační parametry uvedené v tab. 5.1.1. Zvolené simulační parametry odpovídají dle manuálu programu Daysim velmi složité scéně ([107] str. 27) a zároveň byly tyto simulační parametry stanoveny na základě dříve publikovaných validací a odborných prací zpracovaných v programu Daysim (např. [43]; [103] str. 190 – 191; [104] str. 65; [109]; [111]).

Tab. 5.1.1: Přehled simulačních parametrů použitých pro světelné simulace v programu Daysim (autor)

<i>ab</i>	<i>ad</i>	<i>as</i>	<i>ar</i>	<i>aa</i>	<i>lr</i>	<i>st</i>	<i>si</i>	<i>lw</i>	<i>dj</i>	<i>ds</i>	<i>dr</i>	<i>dp</i>
7	1500	100	300	0.050	6	0.150	1.000	0.004	0.000	0.200	2	512
Poznámka: Význam jednotlivých parametrů <i>ab</i> až <i>dp</i> je popsán například v publikacích [82], [104] str. 62 – 66, [107] str. 24 – 27.												

5.2 KRITÉRIA PRO VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI

Hodnoty činitele denní osvětlenosti uvedené v metodice CIE 171: 2006, stanovené měřením na modelu nebo měřením in-situ představují v hodnoceném bodě *i* **referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti** $D_{i,ref}$ [%] pro porovnání s **hodnotami činitele denní osvětlenosti stanovenými výpočtem ve světelně simulačním programu** $D_{i,sw}$ [%]. V současné době neexistuje norma nebo metodika, která by udávala, pomocí jakých kritérií se má validace programů pro výpočet denního osvětlení provádět. Pro vyhodnocení rozdílu ve vypočtené a referenční hodnotě v jednom hodnoceném bodě je v řadě prací (např. [39]; [55]; [56]; [94]; [121]) používána relativní chyba, která se stanoví podle vzorce (5.2.1). Kromě termínu relativní chyba (relative error) je v odborných článcích používán také termín relativní rozdíl (relative difference – např. [39], [55]). V návaznosti na další zvolená hodnotící kritéria bude v dalším textu práce používán pojem relativní chyba.

$$\Delta d_{i,sw} = \frac{D_{i,sw} - D_{i,ref}}{D_{i,ref}} \cdot 100 \quad (5.2.1)$$

- $\Delta d_{i,sw}$ [%] – relativní chyba výpočtem stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{i,sw}$ od referenční hodnoty $D_{i,ref}$ v bodě i ;
- $D_{i,sw}$ [%] – hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená výpočtem ve světelně simulačním programu v bodě i ;
- $D_{i,ref}$ [%] – referenční hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená v bodě i metodikou CIE 171: 2006 [6], měřením na modelu nebo měřením in-situ.

Pro jednočíselné vyhodnocení souboru vypočtených a referenčních hodnot jsou v zahraničních publikacích zabývajících se validováním světelně simulačních programů (např. [43]; [83]; [84]; [109]; [110]; [111]) používána zejména následující dvě kritéria:

- **relativní střední chyba $rMBE$ [%]** (relative Mean Bias Error) dle vzorce (5.2.2)

$$rMBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{i,sw} - D_{i,ref}}{D_{i,ref}} \right) \cdot 100 \% \quad (5.2.2)$$

- **relativní střední kvadratická chyba $rRMSE$ [%]** (relative Root Mean Square Error) dle vzorce (5.2.3)

$$rRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{i,sw} - D_{i,ref}}{D_{i,ref}} \right)^2} \cdot 100 \% \quad (5.2.3)$$

Ukazatel $rMBE$ stanovuje pro hodnocenou sérii průměrnou hodnotu relativních chyb vypočtených hodnot od hodnot referenčních. Pomocí kritéria $rMBE$ lze tedy stanovit, o kolik procent jsou pro hodnocenou sérii dat vypočtené hodnoty v průměru nižší nebo vyšší než hodnoty referenční. Ukazatel $rMBE$ může být kladný nebo záporný. Oproti tomu ukazatel $rRMSE$ je vždy kladný. Čím se ukazatel $rRMSE$ více blíží nule, tím se v hodnocené sérii jednotlivé vypočtené hodnoty méně liší od dat referenčních. Pomocí ukazatele $rMBE$ lze tedy stanovit systematickou chybu výpočetního modelu, zatímco ukazatel $rRMSE$ měří nesystematickou chybu výpočetního modelu [53].

Pro vyhodnocení přesnosti programů pro výpočet denního osvětlení neexistuje norma nebo obecné doporučení stanovující maximální přípustnou chybu vypočtených a naměřených hodnot, při které by bylo možné program ještě považovat za spolehlivý. Hodnoty činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině ve výšce 850 mm nad podlahou jsou často nižší než 1,0 %. Podle čl. 4.1.8 normy ČSN 73 0580-1 [8] se hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti mají zaokrouhlovat na celé desetiny procent. Z hlediska vyhodnocení podle této normy tedy při zaokrouhlení na jedno desetinné místo není například rozdíl v hodnotách činitele denní osvětlenosti 0,45 % a 0,54 %, ačkoliv mezi těmito dvěma hodnotami je vzhledem k nižší z hodnot relativní rozdíl 20 %. Protože však lidský zrak vnímá intenzitu světla logaritmičtí, lze rozdíly v hodnotách činitele denní osvětlenosti v řádu setin procentního bodu považovat za zanedbatelné. Například při vyhodnocení hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Radiance oproti měření na modelu vnitrobloku pod umělou oblohou byla J. Du et al. stanovena relativní chyba 0,03 % až 25,00 % [54]. Pro toto rozmezí relativní chyby je považován výpočet v programu Radiance za validovaný, protože odlišnosti v hodnotách

určených měření a světelnými simulacemi mohou být způsobeny geometrickými a fotometrickými odlišnostmi mezi počítačovým a fyzickým modelem a také nepřesnostmi, které mohou vzniknout při měření [54].

Hodnotící kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ byla použita například D. Li et al. v článku [83] pro validaci navržené metody pro výpočet činitele denní osvětlenosti oproti měření. V tomto článku bylo publikováno, že rozdíly ve vypočtených a změřených hodnotách jsou akceptovatelné, přičemž vypočtené hodnoty se od změřených liší dle kritéria $rMBE$ o 6,2 % a dle kritéria $rRMSE$ o 14,3 %. Kritéria $rRMSE$ a $rMBE$ byla použita také pro validaci CBDM výpočtů ve světelně simulačních programech Daysim 3.0 a Autodesk® 3ds Max® Design 2009 v práci C. Reinharta a P. F. Bretona [111]. V článku [111] jsou na základě předchozí validace C. Reinharta a O. Walkenhorsta [110] za neobvykle vysoké hodnoty považovány hodnoty $rMBE$ ležící mimo interval $<-20\%; +20\%>$ a hodnoty $rRMSE$ vyšší než 32 %.

Pro vyhodnocení přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim budou v rámci dizertační práce použita následující kritéria:

a) jednotlivé hodnocené body:

- $\Delta D_{i,sw}$ [procentní bod (p. b.)] – rozdíl hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu a referenční hodnoty v bodě i dle vzorce (5.2.4)

$$\Delta D_{i,sw} = D_{i,sw} - D_{i,ref} \quad (5.2.4)$$

- $\Delta d_{i,sw}$ [%] – relativní chyba výpočtem stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti od referenční hodnoty dle vzorce (5.2.1)

b) skupina hodnocených bodů:

- $rMBE$ [%] – relativní střední chyba hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených výpočtem v programu od referenčních hodnot dle vzorce (5.2.2)
- $rRMSE$ [%] – relativní střední kvadratická chyba hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených výpočtem v programu od referenčních hodnot dle vzorce (5.2.3).

Jsou-li v dizertační práci referenční hodnoty stanoveny pomocí měření, potom se ve vzorcích (5.2.1), (5.2.2), (5.2.3) a (5.2.4) místo

- $D_{i,ref}$ použije $D_{i,ref,j}$ [%] – referenční hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená v bodě i pro j -té měření;
- $D_{i,sw}$ použije $D_{i,sw,j}$ [%] – hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená výpočtem ve světelně simulačním programu v bodě i pro j -té měření;
- $\Delta D_{i,sw}$ použije $\Delta D_{i,sw,j}$ [p. b.] – rozdíl hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem ve světelně simulačním programu a referenční hodnoty v bodě i pro j -té měření;
- $\Delta d_{i,sw}$ použije $\Delta d_{i,sw,j}$ [%] – relativní chyba výpočtem stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{i,sw,j}$ od referenční hodnoty $D_{i,ref,j}$ v bodě i pro j -té měření.

5.3 VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA STANOVENÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI DLE VYBRANÝCH TESTOVÝCH SITUACÍ METODIKY CIE 171: 2006

5.3.1 Metodika CIE 171: 2006

V roce 2006 byla vydána metodika CIE 171: 2006 [6] (dále jen „metodika CIE 171: 2006“), jejímž cílem je prostřednictvím jednoduchých testových situací posoudit přesnost programů pro výpočet umělého a denního osvětlení a jasně identifikovat problematické oblasti světelných simulací v testovaných programech. Metodika CIE 171: 2006 vychází z dizertační práce F. Maamariho [89], který ve svém článku [91] upozornil, že dobrá shoda výsledků výpočtů testovaného programu v některé z testovaných situací nezaručuje přesnost programu při řešení komplexnějších situací. Obdobná poznámka se objevuje i v čl. 7.1 metodiky CIE 171: 2006.

Pro jednotlivé testové situace obsahuje metodika CIE 171: 2006 analyticky nebo experimentálně stanovené referenční hodnoty. Experimentálně jsou stanoveny referenční hodnoty pouze pro umělé osvětlení ve 4. části metodiky CIE 171: 2006. Referenční hodnoty v 5. části metodiky CIE 171: 2006 jsou stanoveny analyticky a u testových situací 5.9 až 5.14 převážně výpočtem v programu Skylux, který byl vyvinut za účelem stanovení referenčních hodnot pro tyto testové situace. Validace programu Skylux byla provedena ověřením s analyticky stanovenými hodnotami činitele denní osvětlenosti nebo jeho složek pro rovnoměrně zataženou oblohu (testové situace 5.9, 5.10, 5.11, 5.12), oblohu s konstantním jasnem (testová situace 5.11) a jasnou oblohu (testová situace 5.9) ([6] čl. 5.9.1, 5.10.1, 5.11.1, 5.12.1). Velká část referenčních hodnot pro testové situace 5.9 až 5.14 tedy není stanovena analyticky, ale na základě světelné simulace v programu Skylux.

Ověřením přesnosti výpočtu pouze denního osvětlení se v metodice CIE 171: 2006 zabývají testové situace 5.9 až 5.14. Pro ověření výpočtu denního osvětlení by mohly být použity i některé další testové situace z 5. části metodiky CIE 171: 2006, avšak zde je nutné vycházet z možností nastavení výpočtu v testovaném programu pro výpočet denního osvětlení. Například u několika testových situací v 5. části metodiky CIE 171: 2006 se předpokládá, že světelný tok dopadá pod zadaným úhlem. Použití takových testových situací pro ověření programů pro simulace denního osvětlení je však možné pouze v případě, že program umožňuje výpočty pro přímé sluneční světlo s vyloučením difúzní (oblohové) složky denního osvětlení. Případně by validovaný program musel být určen pro výpočet denního i umělého osvětlení a místo pro přímé sluneční světlo by muselo být ověření programu provedeno pro bodový zdroj umělého světla.

Jednotlivé testové situace jsou podrobně popsány v metodice CIE 171: 2006. V dizertační práci jsou v kapitole 5.3.2 popsány pouze testové situace, které jsou použity pro validování programu Daysim při výpočtu činitele denní osvětlenosti podle metodiky CIE 171: 2006.

5.3.2 Validování programu Daysim pro výpočet činitele denní osvětlenosti dle metodiky CIE 171: 2006

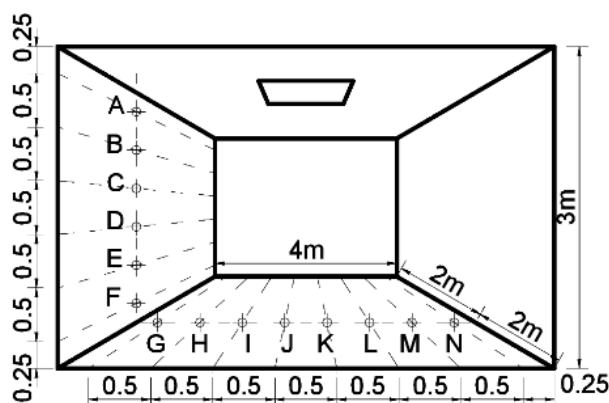
Program Daysim se používá zejména pro dynamické simulace denního osvětlení, ale je možné v tomto programu stanovit i hodnotu činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 ([107] str. 20). S ohledem na výpočetní modely použité v programu Daysim a zaměření dizertační práce je ověření přesnosti programu Daysim pomocí metodiky CIE 171: 2006 vhodné provést pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16 v rámci testových situací 5.9 až 5.14.

Validování programu Daysim 3.1b dle metodiky CIE 171: 2006 dle dostupných zdrojů doposud provedl pouze I. Acosta et al. [39], ale jen z hlediska výpočtu oblohové složky činitele denní osvětlenosti v bodech umístěných v rovině podlahy místnosti při rovnoměrně zatažené obloze podle zadání testových situací 5.9 a 5.11. Závěrem tohoto validování programu Daysim 3.1b dle metodiky CIE 171: 2006 je, že program vykazuje při výpočtu oblohové složky činitele denní osvětlenosti v rovině podlahy dostatečnou přesnost a poskytuje důvěryhodné výsledky [39].

5.3.2.1 Testová situace 5.9 dle metodiky CIE 171: 2006

5.3.2.1.1 Popis testové situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006

Testová situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006 ověřuje přesnost programů při výpočtu oblohové složky činitele denní osvětlenosti v místnosti s horním denním osvětlením, které je zajištěno osvětlovacím otvorem bez zasklení (viz obr. 5.3.1). Testována je totožná místnost pro dvě varianty rozměrů horního osvětlovacího otvoru umístěného ve středu stropu místnosti. V obou testovaných variantách má místnost šířku a délku 4 m, světlá výška místnosti je 3 m. Osvětlovací otvor má nulovou tloušťku ostění a rozměry buď 1 m × 1 m (varianta 1), nebo 4 m × 4 m (varianta 2). Všechny vnitřní povrchy místnosti jsou v obou variantách ideálně difúzní s nulovým činitelem odrazu světla. V rovině podlahy a stěny místnosti jsou v obou testovaných variantách rozmístěny hodnotící body dle obr. 5.3.1. V bodech A až F je stanovena oblohová složka činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině stěny místnosti. V bodech G až N je určena oblohová složka činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině podlahy místnosti.



Obr. 5.3.1 Schéma místnosti pro testové situace 5.9 a 5.10 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 15)

5.3.2.1.2 Validování programu Daysim pro testovou situaci 5.9 metodiky CIE 171: 2006

Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro typ oblohy CIE 16 (rovnoměrně zatažená) jsou v programu Daysim stanoveny pro obě varianty testové situace 5.9 dle popisu v kapitole 5.3.2.1.1. Světelné simulace v programu Daysim byly provedeny pro parametry uvedené v tab. 5.1.1 a vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

V tab. 5.3.1 jsou uvedeny hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim pro body A až F v rovině stěny a v tab. 5.3.2 pro body G až N v rovině podlahy místnosti. Pro jednotlivé body jsou v tab. 5.3.1 a tab. 5.3.2 stanoveny: rozdíl $\Delta D_{i,sw}$ vypočtené a referenční hodnoty a relativní chyba $\Delta d_{i,sw}$ vypočtené hodnoty od hodnoty referenční. Vyhodnocení pomocí kritéria $rRMSE$ a $rMBE$ je provedeno pro jednotlivé varianty samostatně pro body A až F v rovině stěny místnosti a pro body G až N v rovině podlahy místnosti. Pro testované varianty jsou v tab. 5.3.1 a tab. 5.3.2 červeně (modře) vyznačeny maximální (minimální) absolutní hodnoty kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ ve vertikální rovině (body A až F) a v horizontální rovině (body G až N).

V bodech A až F vertikální roviny stěny se nejvíce liší vypočtená hodnota od hodnoty referenční v bodě A u obou testovaných variant. Ve variantě 1 (osvětlovací otvor 1 m × 1 m) je vypočtená hodnota nižší než referenční o 0,11 p. b., což představuje relativní chybu -19,64 %. U varianty 2 (osvětlovací otvor 4 m × 4 m) je relativní chyba -5,42 %, přičemž vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti je nižší o 2,13 p. b. V bodech B až F se relativní chyba pohybuje v rozmezí -1,40 % až 2,81 % pro variantu 1 v rozmezí -1,03 % až -0,11 % pro variantu 2.

Tab. 5.3.1: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.9 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 1 m × 1 m bez zasklení								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,56	1,78	2,32	2,20	1,82	1,43
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,45	1,83	2,34	2,25	1,84	1,41
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,11	0,05	0,02	0,05	0,02	-0,02
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-19,64	2,81	0,86	2,27	1,10	-1,40
	$rMBE$	[%]	-2,33					
	$rRMSE$	[%]	8,19					
testová situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 4 m bez zasklení								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	39,28	32,32	26,79	21,78	17,53	14,05
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	37,15	32,17	26,76	21,72	17,35	13,94
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-2,13	-0,15	-0,03	-0,06	-0,18	-0,11
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-5,42	-0,46	-0,11	-0,28	-1,03	-0,78
	$rMBE$	[%]	-1,35					
	$rRMSE$	[%]	2,29					
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech A až F pro testovanou variantu.								

V bodech G až N horizontální roviny byla pro testované varianty zjištěna nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby 3,06 % v bodě N u osvětlovacího otvoru rozměrů 1 m × 1 m (varianta 1). Vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti je v tomto bodě o 0,07 p. b. nižší než hodnota referenční. Relativní chyba $\Delta d_{i,sw}$ v ostatních bodech horizontální roviny se pro variantu 1 nachází v intervalu <-1,30 %; 2,88 %>. Ve všech bodech horizontální roviny u testované místnosti s osvětlovacím otvorem rozměrů 4 m × 4 m (varianta 2) je absolutní hodnota relativní chyby menší než 1,00 %.

Tab. 5.3.2: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N pro testovou situaci 5.9 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 1 m × 1 m bez zasklení										
hodnocený bod <i>i</i>			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	2,29	3,07	3,82	4,29	4,29	3,82	3,07	2,29
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	2,27	3,03	3,93	4,26	4,25	3,89	3,15	2,22
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,02	-0,04	0,11	-0,03	-0,04	0,07	0,08	-0,07
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-0,87	-1,30	2,88	-0,70	-0,93	1,83	2,61	-3,06
	$rMBE$	[%]	0,06							
	$rRMSE$	[%]	1,99							
testová situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 4 m bez zasklení										
hodnocený bod <i>i</i>			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	31,36	36,76	40,71	42,75	42,76	40,71	36,76	31,36
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	31,56	36,70	41,02	42,64	42,91	40,77	37,05	31,41
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	0,20	-0,06	0,31	-0,11	0,15	0,06	0,29	0,05
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	0,64	-0,16	0,76	-0,26	0,35	0,15	0,79	0,16
	$rMBE$	[%]	0,30							
	$rRMSE$	[%]	0,48							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G až N pro testovanou variantu.										

Vyhodnocení přesnosti programu Daysim pro skupinu hodnotících bodů bylo provedeno pomocí kritérií $rMBE$ a $rRMSE$. V horizontální rovině je hodnota $rMBE$ rovna 0,06 % pro variantu 1 a 0,30 % pro variantu 2. Ve vertikální rovině hodnota $rMBE$ dosahuje -2,33 % pro variantu 1 a -1,35 % pro variantu 2. Nejvyšší hodnota kritéria $rRMSE$ rovná 8,19 % byla zjištěna pro body ve vertikální rovině u prostoru osvětlovaného otvorem 1 m × 1 m v důsledku vyšší relativní chyby v bodě A. Kritérium $rRMSE$ pro body ve vertikální rovině hodnocené varianty 2 je 2,29 %. Pro body horizontální roviny $rRMSE$ činí 1,99 % pro variantu 1 a 0,48 % pro variantu 2. Z hlediska kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ bylo v programu Daysim dosaženo ve vertikální i horizontální rovině vyšší shody referenčních a vypočtených hodnot oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro osvětlovací otvor rozměrů 4 m × 4 m. Z provedených výpočtů a porovnání je také patrné, že menší relativní chyby mezi referenčními a v programu Daysim vypočtenými hodnotami oblohové složky činitele denní osvětlenosti jsou u bodů v horizontální rovině podlahy.

Pomocí testové situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006 byla provedena validace programu Daysim z hlediska stanovení oblohové složky činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 ve vnitřním prostoru, který je osvětlován horním osvětlovacím otvorem bez výplně. Celkově lze na základě výše prezentovaných dat konstatovat, že pro testovou

situaci 5.9 metodiky CIE 171: 2006 bylo dosaženo vysoké shody vypočtených a referenčních hodnot.

5.3.2.2 Testová situace 5.10 dle metodiky CIE 171: 2006

5.3.2.2.1 Popis testové situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006

Testová situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006 se zabývá stanovením oblohové složky činitele denní osvětlenosti v místnosti s horním denním osvětlením zajištěným zaskleným osvětlovacím otvorem ve dvou variantách rozměrů. V obou variantách je hodnocena stejná místnost jako u testové situace 5.9 metodiky CIE 171: 2006. Místnost má tedy stejné rozměry, vlastnosti vnitřních povrchů, tloušťkou ostění, velikosti osvětlovacích otvorů ve stropě místnosti a rozmístění hodnocených bodů jako místnost v testové situaci 5.9 dle obr. 5.3.1. Jediným rozdílem oproti testové situaci 5.9 je, že v testové situaci 5.10 je uvažován horní osvětlovací otvor zasklený čirým sklem tloušťky 6 mm. Metodika však již neuvádí, jaká je světelná propustnost tohoto zasklení, přestože v současných programech pro výpočet denního osvětlení (např. BuildingDesign, Daysim, DIALux 4.13, Radiance, ReluxDesktop, Světlo+, Velux Daylight Visualizer) se standardně zadává světelná propustnost zasklení a nikoliv tloušťka skla. V metodice CIE 171: 2006 je v čl. 5.10.1 pouze napsáno, že směrová světelná propustnost čírého zasklení tloušťky 6 mm je dána vztahem, jehož autory jsou G. P. Mitalas a J. G. Arseneault [96] a který je publikován v [120]. Odkazovaný vzorec však přímo v metodice CIE 171: 2006 není uveden. V dostupných zdrojích [90], [96], [120] však lze dohledat, že metodika CIE 171: 2006 se v případě světelné propustnosti čírého zasklení tloušťky 6 mm odvolává na vzorec (5.3.1). Na stanovení světelné propustnosti dle vzorce (5.3.1) v testové situaci 5.10 bylo v roce 2016 upozorněno také v [42].

$$\tau_{\beta} = -0,028378 + 3,156075 \cdot \cos \beta - 3,058376 \cdot \cos^2 \beta - 1,428919 \cdot \cos^3 \beta + 4,014235 \cdot \cos^4 \beta - 1,775827 \cdot \cos^5 \beta \quad (5.3.1)$$

- τ_{β} [-] – světelná propustnost čírého skla tloušťky 6 mm pro úhel dopadu denního světla β ;
- β [rad; °] – úhel dopadu denního světla.

Pro úhel dopadu $\beta = 0^{\circ}$ je podle vzorce (5.3.1) hodnota světelné propustnosti τ_{β} rovna 0,88. V zahraničních publikacích zabývajících se validováním programů dle metodiky CIE 171: 2006 však bývá velmi často uvedeno, že metodika CIE 171: 2006 neuvádí hodnotu světelné propustnosti pro testovou situaci 5.10 a světelné simulace bývají v těchto validacích provedeny pro světelnou propustnost 0,91 – viz např. validování programů AGi32 [122], NVIDIA Iray [123] a DIALux 4.12 [92]. Použití hodnoty světelné propustnosti 0,91 je v pracích [122] str. 30 a [123] str. 29 odůvodněno tím, že právě pro tuto propustnost bylo pro testované programy dosaženo nejvyšší shody mezi referenčními a vypočtenými hodnotami pro osvětlovací otvor $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ při obloze CIE 1.

5.3.2.2.2 Validování programu Daysim pro testovou situaci 5.10 metodiky CIE 171: 2006

Stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti pro typ oblohy CIE 16 (rovnoměrně zatažená) je v programu Daysim pro testovou situaci 5.10 provedeno pro místnost popsanou v kapitole 5.3.2.2 a zobrazenou na obr. 5.3.1. Ve světelných simulacích je použita světelná propustnost zasklení dle vzorce (5.3.1), podle kterého $\tau_{\beta=0^\circ} = 0,88$. **Protože však metodika CIE 171: 2006 konkrétní hodnotu světlené propustnosti zasklení přímo neuvádí, není z důvodu neúplných okrajových podmínek úlohy provedena validace programu dle testové situace 5.10, ale pouze porovnání vypočtených a referenčních hodnot.** Veškerá porovnání vypočtených a referenčních hodnot v testové situaci 5.10 mají tedy pouze orientační charakter. Pro světelné simulace v programu Daysim byly použity parametry dle tab. 5.1.1 a vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim pro body A až F v rovině stěny jsou uvedeny v tab. 5.3.3. Pro body G až N v rovině podlahy místnosti jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti určené programem Daysim obsaženy v tab. 5.3.4. Stejně jako u testové situace 5.9 dle metodiky CIE 171: 2006 je vyhodnocení v tab. 5.3.3 a tab. 5.3.4 provedeno pro jednotlivé body pomocí rozdílu $\Delta D_{i, SW}$ vypočtené a referenční hodnoty a pomocí relativní chyby $\Delta d_{i, SW}$ vypočtené hodnoty od hodnoty referenční. Pro každou variantu velikosti osvětlovacího otvoru je v tab. 5.3.3 a tab. 5.3.4 pro body v rovině stěny místnosti a pro body v rovině podlahy místnosti provedeno také vyhodnocení pomocí kritérií $rRMSE$ a $rMBE$. V tab. 5.3.3 a tab. 5.3.4 jsou pro jednotlivé skupiny bodů červeně (modře) vyznačeny dosažené nejvyšší (nejnižší) absolutní hodnoty rozdílu $\Delta D_{i, SW}$ a relativní chyby $\Delta d_{i, SW}$.

Tab. 5.3.3: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F testové situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 1 m × 1 m se zasklením								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,19	1,26	1,90	1,87	1,57	1,24
Daysim	$D_{i, SW}$	[%]	0,15	1,28	1,93	1,96	1,59	1,26
	$\Delta D_{i, SW}$	[p. b.]	-0,04	0,02	0,03	0,09	0,02	0,02
	$\Delta d_{i, SW}$	[%]	-21,05	1,59	1,58	4,81	1,27	1,61
	$rMBE$	[%]	-1,70					
	$rRMSE$	[%]	8,90					
testová situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 4 m se zasklením								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	28,64	25,36	22,25	18,71	15,34	12,43
Daysim	$D_{i, SW}$	[%]	27,41	25,50	21,90	18,52	14,92	12,09
	$\Delta D_{i, SW}$	[p. b.]	-1,23	0,14	-0,35	-0,19	-0,42	-0,34
	$\Delta d_{i, SW}$	[%]	-4,29	0,55	-1,57	-1,02	-2,74	-2,74
	$rMBE$	[%]	-1,97					
	$rRMSE$	[%]	2,49					
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW}$ a $\Delta d_{i, SW}$ v bodech A až F pro testovanou variantu.								

V testové situaci 5.10 metodiky CIE 171: 2006 byla v bodech A až F vertikální roviny stanovena pro obě testované varianty nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ v bodě A. U místnosti osvětlované světlíkem rozměrů 1 m × 1 m (varianta 1) byl v bodě A zjištěn rozdíl $\Delta D_{i,sw}$ mezi vypočtenou a referenční hodnotou -0,04 p. b., což představuje relativní chybu -21,05 %. Pro variantu místnosti se světlíkem rozměrů 4 m × 4 m (varianta 2) se vypočtená a referenční hodnota v bodě A liší o -1,23 p. b, což odpovídá relativní chybě vypočtené hodnoty -4,29 %. V bodech B až F se relativní chyba pohybuje v rozmezí 1,27 % až 4,81 % pro variantu 1 a v rozmezí -2,74 % až 0,55 % pro variantu 2.

V horizontální rovině podlahy byla pro testovou situaci 5.10 metodiky CIE 171: 2006 zjištěna nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby v bodě M pro obě hodnocené varianty. Vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti v bodě M je oproti referenční hodnotě ve variantě 1 o 5,93 % vyšší a ve variantě 2 o 2,57 % nižší. Ve zbývajících bodech horizontální roviny byla zjištěna absolutní hodnota relativní chyby menší než 3,00 % pro variantu 1 a menší než 2,00 % pro variantu 2.

Tab. 5.3.4: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N testové situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 1 m × 1 m se zasklením										
hodnocený bod <i>i</i>			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	2,00	2,70	3,36	3,78	3,78	3,36	2,70	2,00
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	2,00	2,67	3,33	3,70	3,68	3,46	2,86	2,00
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	0,00	-0,03	-0,03	-0,08	-0,10	0,10	0,16	0,00
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	0,00	-1,11	-0,89	-2,12	-2,65	2,98	5,93	0,00
	$rMBE$	[%]	0,27							
	$rRMSE$	[%]	2,68							
testová situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 4 m se zasklením										
hodnocený bod <i>i</i>			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	27,88	32,69	36,22	38,07	38,07	36,22	32,69	27,88
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	27,42	32,22	35,50	37,50	37,37	35,71	31,85	27,42
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,46	-0,47	-0,72	-0,57	-0,70	-0,51	-0,84	-0,46
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-1,65	-1,44	-1,99	-1,50	-1,84	-1,41	-2,57	-1,65
	$rMBE$	[%]	-1,75							
	$rRMSE$	[%]	1,79							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G až N pro testovanou variantu.										

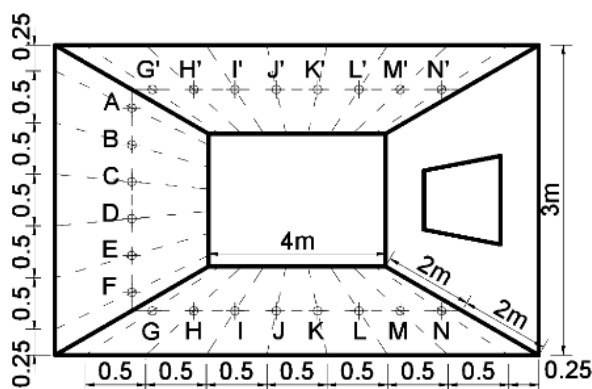
Z hlediska vyhodnocení pomocí kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ bylo v testové situaci 5.10 metodiky CIE 171: 2006 dosaženo obdobných hodnot jako u testové situace 5.9. Pro variantu 1 v testové situaci 5.10 metodiky CIE 171: 2006 je hodnota $rMBE$ pro vertikální rovinu -1,70 % a pro horizontální rovinu 0,27 %. Kritérium $rMBE$ pro variantu 2 činí pro vertikální rovinu -1,97 % a pro horizontální rovinu -1,75 %. Nejvyšší hodnota kritéria $rRMSE$ byla zjištěna z důvodu velké relativní chyby v bodě A pro vertikální rovinu ve variantě 1, pro kterou se $rRMSE$ rovná 8,90 %. Kritérium $rRMSE$ je nejnižší (1,79 %) pro body v horizontální rovině varianty 2. Pro vertikální rovinu ve variantě 2 je kritérium $rRMSE$ rovno 2,49 %. Pro horizontální rovinu ve variantě 1 $rRMSE$ činí 2,68 %.

Testová situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006 ověřuje přesnost programu při výpočtu oblohové složky činitele denní osvětlenosti v prostoru osvětlovaném zaskleným osvětlovacím otvorem ve stropě místnosti. Ze zjištěných hodnot relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ a kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ je patrné, že hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim pro typ oblohy CIE 16 dosahují vysoké shody s referenčními daty v testové situaci 5.10 metodiky CIE 171: 2006. **Jak však bylo uvedeno již v popisu této testové situace, metodika přímo neuvádí konkrétní hodnotu světelné propustnosti zasklení. Okrajové podmínky testové situace tedy nejsou jednoznačně definovány, a proto je porovnání a vyhodnocení vypočtených a referenčních hodnot v této testové situaci spíše orientační.**

5.3.2.3 Testová situace 5.11 dle metodiky CIE 171: 2006

5.3.2.3.1 Popis testové situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006

V testové situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 je ověřována přesnost programů při výpočtu oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti u místnosti s bočním osvětlovacím otvorem bez výplně (viz obr. 5.3.2). Stanovení přesnosti programů je provedeno pro dvě varianty rozměrů osvětlovacího otvoru. V obou variantách testové situace má místnost šířku a délku 4 m, světlá výška místnosti je 3 m. Denní osvětlení místnosti je zajištěno osvětlovacím otvorem bez výplně umístěným uprostřed stěny místnosti. Osvětlovací otvor má rozměry 2 m × 2 m, výška parapetu 1 m (varianta 1) a 4 m × 3 m, výška parapetu 0 m (varianta 2). Ostění osvětlovacího otvoru má pro obě hodnocené varianty tloušťku 0 mm. Všechny vnitřní povrchy jsou dokonale difúzní s nulovým činitelem odrazu světla. Činitel odrazu světla od terénu je zadán hodnotou 0,30. V rovině podlahy, stropu a zadní stěny místnosti jsou rozmístěny hodnotící body dle schématu na obr. 5.3.2. Oblohová a vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině stěny místnosti je stanovena pro body A až F. V bodech G až N je určena oblohová složka činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině podlahy místnosti. Vnější odražená složka od terénu je zjišťována v bodech G' až N' v rovině stropu místnosti.



Obr. 5.3.2 Schéma místnosti pro testové situace 5.11 a 5.12 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 20)

5.3.2.3.2 Validování programu Daysim pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006

Pro obě varianty testové situace 5.11 byly v programu Daysim stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti pro typ oblohy CIE 16 (rovnoměrně zatažená) pro místnost popsanou v kapitole 5.3.2.3.1 a zobrazenou na obr. 5.3.2. Výpočty v programu Daysim byly provedeny pro simulační parametry uvedené v tab. 5.1.1 a vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim pro jednotlivé hodnocené roviny v rámci testové situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006 jsou uvedeny v tab. 5.3.5 (body A – F v rovině zadní stěny místnosti), tab. 5.3.6 (body G – N v rovině podlahy místnosti) a v tab. 5.3.7 (body G' – N' v rovině stropu místnosti). V tab. 5.3.5 až tab. 5.3.7 jsou stanovena také hodnotící kritéria pro hodnocené body (rozdíl vypočtené a referenční hodnoty $\Delta D_{i,sw}$, relativní chyba vypočtené hodnoty od hodnoty referenční $\Delta d_{i,sw}$) a pro hodnocené skupiny bodů v rovině podlahy, stropu a zadní stěny (kritéria $rMBE$ a $rRMSE$). V tab. 5.3.5 až v tab. 5.3.7 jsou pro skupiny bodů červeně (modře) vyznačeny také maximální (minimální) zjištěné absolutní hodnoty rozdílu $\Delta D_{i,sw}$ a relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$.

Tab. 5.3.5: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,95	1,06	1,28	1,71	2,06	2,14
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,96	1,05	1,18	1,63	2,14	2,10
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	0,01	-0,01	-0,10	-0,08	0,08	-0,04
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	1,05	-0,94	-7,81	-4,68	3,88	-1,87
	$rMBE$	[%]	-1,73					
	$rRMSE$	[%]	4,15					
testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m bez zasklení								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	5,29	6,46	7,67	8,88	9,73	10,29
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	4,62	5,90	7,19	8,36	9,44	10,19
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,67	-0,56	-0,48	-0,52	-0,29	-0,10
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-12,67	-8,67	-6,26	-5,86	-2,98	-0,97
	$rMBE$	[%]	-6,23					
	$rRMSE$	[%]	7,29					
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech A až F pro testovanou variantu.								

Z hlediska relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ se od hodnot referenčních nejméně liší vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech G až N v rovině podlahy. Pro osvětlovací otvor velikosti 2 m × 1 m (varianta 1) byla nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby zjištěna v bodě H, kde relativní chyba činí -6,52 %. V ostatních bodech umístěných na podlaze místnosti ve variantě 1 absolutní hodnota relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ nepřekračuje 3,00 %. Pro variantu 2 této testové situace s osvětlovacím otvorem velikosti 4 m × 3 m se z hlediska absolutní hodnoty relativní chyby nejvíce liší od referenční hodnoty vypočtená hodnota v bodě G, ve kterém je vypočtená hodnota nižší o 4,89 % než hodnota referenční. V bodech H až N prostoru

s osvětlovacím otvorem 4 m × 3 m se vypočtené hodnoty liší od hodnot referenčních maximálně o 2,13 %. Pro body v horizontální rovině podlahy v hodnocené variantě 1 je kritérium $rMBE$ rovné -1,22 % a kritérium $rRMSE$ činí 2,72 %. Pro testovanou variantu 2 hodnota $rMBE$ dosahuje -1,11 % a hodnota $rRMSE$ je 2,05 %.

Tab. 5.3.6: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení										
hodnocený bod i			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,95	1,38	2,07	3,19	4,97	7,42	9,11	5,04
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,94	1,29	2,02	3,23	4,94	7,51	9,18	4,92
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,01	-0,09	-0,05	0,04	-0,03	0,09	0,07	-0,12
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-1,05	-6,52	-2,42	1,25	-0,60	1,21	0,77	-2,38
	$rMBE$	[%]	-1,22							
	$rRMSE$	[%]	2,72							
testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m bez zasklení										
hodnocený bod i			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	4,50	6,15	8,53	12,00	16,97	23,91	33,08	44,43
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	4,28	6,08	8,64	12,05	16,83	23,40	32,74	44,18
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,22	-0,07	0,11	0,05	-0,14	-0,51	-0,34	-0,25
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-4,89	-1,14	1,29	0,42	-0,82	-2,13	-1,03	-0,56
	$rMBE$	[%]	-1,11							
	$rRMSE$	[%]	2,05							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G až N pro testovanou variantu.										

Tab. 5.3.7: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G' až N' pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení										
hodnocený bod i			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,38	0,53	0,75	1,08	1,56	2,14	2,40	1,24
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,35	0,47	0,66	0,91	1,28	1,74	1,76	0,74
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,03	-0,06	-0,09	-0,17	-0,28	-0,40	-0,64	-0,50
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-7,89	-11,32	-12,00	-15,74	-17,95	-18,69	-26,67	-40,32
	$rMBE$	[%]	-18,82							
	$rRMSE$	[%]	21,19							
testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m bez zasklení										
hodnocený bod i			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	1,74	2,29	3,06	4,14	5,63	7,65	10,27	13,59
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	1,48	1,91	2,57	3,48	4,69	6,47	8,70	11,38
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,26	-0,38	-0,49	-0,66	-0,94	-1,18	-1,57	-2,21
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-14,94	-16,59	-16,01	-15,94	-16,70	-15,42	-15,29	-16,26
	$rMBE$	[%]	-15,90							
	$rRMSE$	[%]	15,91							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G' až N' pro testovanou variantu.										

Největší rozdíly v referenčních hodnotách a hodnotách stanovených simulací v programu Daysim byly zjištěny v bodech G' až N' v rovině stropu. U testované varianty 1 s osvětlovacím otvorem rozměrů 2 m × 1 m činí v rovině stropu nejnižší absolutní hodnota relativní chyby 7,89 % (bod G') a nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby je 40,32 % (bod N'). U místnosti osvětlované otvorem velikosti 4 m × 3 m (varianta 2) se relativní chyba $\Delta d_{i,sw}$ pohybuje pro body G' až N' v intervalu <-16,70 %; -14,94 %>. Pro body v rovině stropu hodnotící kritérium *rMBE* činí -18,82 % pro variantu 1 a -15,90 % pro variantu 2. Hodnotící kritérium *rRMSE* dosahuje pro variantu 1 hodnoty 21,19 % a 15,91 % pro variantu 2. Veškeré v programu Daysim stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech G' až N' v rovině stropu jsou nižší než hodnoty referenční.

Výrazně nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech G' – N' v rovině stropu oproti hodnotám publikovaným v metodice CIE 171: 2006 byly kromě této dizertační práce stanoveny výpočty také v zahraničních validacích programů AGi32 ([122] str. 33), NVIDIA Iray ([123] str. 32), Radiance a 3ds Max ([100] str. 55). **Na základě výpočtů provedených v rámci této dizertační práce i na základě dříve publikovaných validací ([123] str. 32; [122] str. 33; [100] str. 55) se však zdá, že referenční hodnoty u bodů G' – N' v rovině stropu uvedené v metodice CIE 171:2006 jsou chybné.** Hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech G' – N' stanovené pro oblohu CIE 16 a publikované v zahraničních validacích pro programy AGi32 ([122] str. 33) a NVIDIA Iray ([123] str. 32) jsou pro ilustraci uvedeny v tab. 5.3.8. Protože ve validacích [123] a [122] nejsou použita stejná hodnotící kritéria jako v této dizertační práci, jsou v tab. 5.3.8 pro možnost srovnání s výpočty v programu Daysim dopočítána hodnotící kritéria $\Delta D_{i,sw}$, $\Delta d_{i,sw}$, *rRMSE* a *rMBE*. Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočty pro validování programů Radiance a 3ds Max ([100] str. 55) nejsou v této dizertační práci uvedeny, neboť v této práci jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti vyjádřeny pouze v grafech, ze kterých není možné odečíst hodnoty s přesností na dvě desetinná místa. Z porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti a hodnotících kritérií uvedených v tab. 5.3.7 a v tab. 5.3.8 je patrné, že **hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim pro body G' – N' jsou podobné hodnotám publikovaným ve validacích programů AGi32 ([122] str. 33) a NVIDIA Iray ([123] str. 32).**

Hodnota činitele denní osvětlenosti v bodech G' až N' je tvořena pouze vnější odraženou složkou od terénu. Metodika CIE 171: 2006 uvádí v čl. 5.11.2 jako **jeden z předpokladů hodnocení jednotný jas terénu.** Jas terénu je však ovlivněn samotnou hodnocenou místností, která terén zastínuje a jas terénu snižuje, jak je zobrazeno na obr. 5.3.3. V důsledku tohoto zastínění terénu není jeho jas jednotný a zároveň je i odražená složka činitele odrazu světla od zastíněného terénu nižší, než by byla u nezastíněného terénu s jednotným jaselem. Předpoklad jednotného jasu terénu uvedený v čl. 5.11.2 metodiky CIE 171: 2006 tedy nereflexuje vliv zastínění terénu samotnou místností, na což bylo upozorněno bez dalšího analyzování také v článku [42]. Rovněž autoři validací programů NVIDIA Iray ([123] str. 33), Radiance a 3ds Max ([100] str. 55) předpokládají, že referenční hodnoty pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 jsou v případě bodů G' až N' chybné.

Tab. 5.3.8: Referenční a v programech AGi32 a NVIDIA Iray vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body v bodech G' až N' pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavení tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 33 a [123] str. 32)

testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení										
hodnocený bod i			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,38	0,53	0,75	1,08	1,56	2,14	2,40	1,24
AGi32	$D_{i,sw}$ [122]	[%]	0,37	0,51	0,71	1,01	1,32	1,64	1,46	0,61
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,01	-0,02	-0,04	-0,07	-0,24	-0,50	-0,94	-0,63
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-2,63	-3,77	-5,33	-6,48	-15,38	-23,36	-39,17	-50,81
	rMBE	[%]	-18,37							
	rRMSE	[%]	24,97							
NVIDIA Iray	$D_{i,sw}$ [123]	[%]	0,36	0,49	0,68	0,96	1,34	1,75	1,81	0,79
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,02	-0,04	-0,07	-0,12	-0,22	-0,39	-0,59	-0,45
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-5,26	-7,55	-9,33	-11,11	-14,10	-18,22	-24,58	-36,29
	rMBE	[%]	-15,81							
	rRMSE	[%]	18,53							
testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m bez zasklení										
hodnocený bod i			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	1,74	2,29	3,06	4,14	5,63	7,65	10,27	13,59
AGi32	$D_{i,sw}$ [122]	[%]	1,47	1,92	2,56	3,44	4,68	6,35	8,56	11,30
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,27	-0,37	-0,50	-0,70	-0,95	-1,30	-1,71	-2,29
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-15,52	-16,16	-16,34	-16,91	-16,87	-16,99	-16,65	-16,85
	rMBE	[%]	-16,54							
	rRMSE	[%]	16,54							
NVIDIA Iray	$D_{i,sw}$ [123]	[%]	1,48	1,94	2,58	3,48	4,74	6,46	8,71	11,44
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,26	-0,35	-0,48	-0,66	-0,89	-1,19	-1,56	-2,15
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-14,94	-15,28	-15,69	-15,94	-15,81	-15,56	-15,19	-15,82
	rMBE	[%]	-15,53							
	rRMSE	[%]	15,53							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G' až N' pro testovanou variantu.										

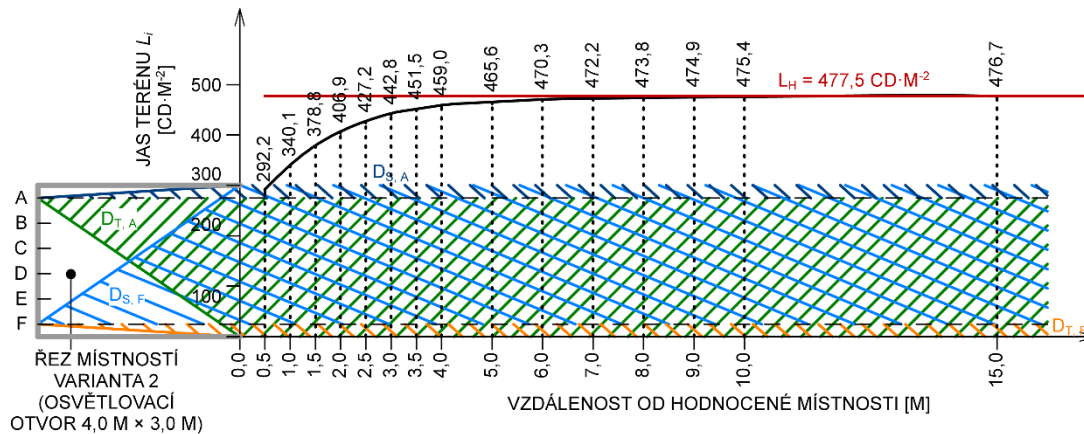
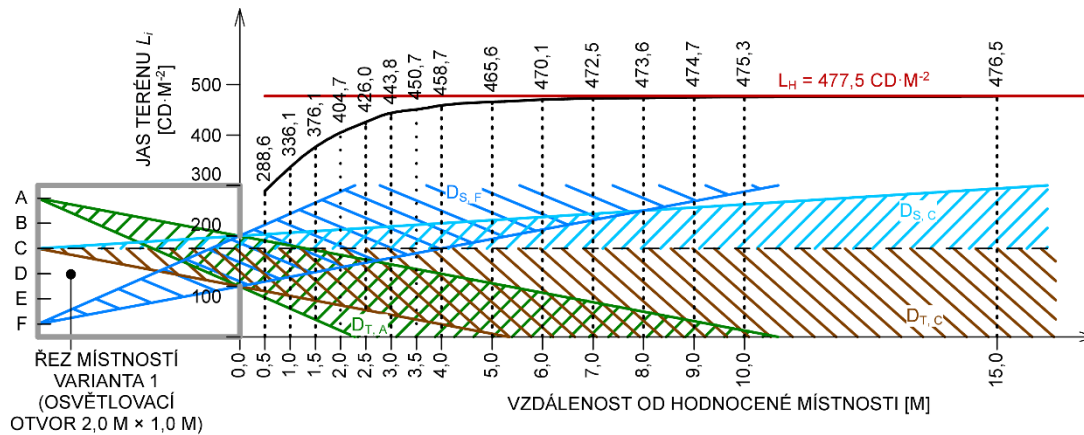
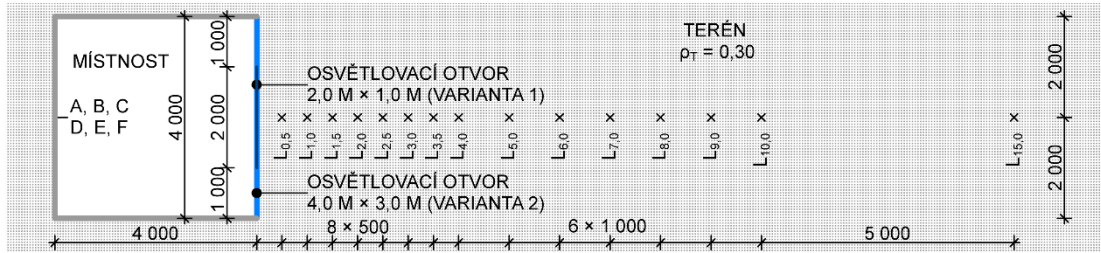
Vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti však není zastoupena pouze u bodů G' až N' v rovině stropu, ale také u bodů A až F v rovině zadní stěny místnosti. U většiny těchto bodů je však kromě odražené složky činitele denní osvětlenosti zastoupena i složka oblohová. V bodech A až F v rovině zadní stěny je z provedeného porovnání referenčních hodnot a hodnot stanovených v programu Daysim patrné, že větší rozdíly v referenčních a vypočtených hodnotách jsou u testové situace s oknem rozměrů 4 m × 4 m (varianta 2). V obou testových situacích je u bodů v rovině stěny nejnižší podíl oblohové složky činitele denní osvětlenosti v bodě A, zatímco nejvyšší podíl oblohové složky je v bodě F (viz obr. 5.3.3). Body E a F jsou ve variantě 1 (okno rozměrů 1 m × 2 m) umístěny pod parapetem osvětlovacího otvoru, a proto je v těchto bodech nulová odražená složka činitele denní osvětlenosti od terénu. Naopak v bodech A a B ve variantě 1 je nulová oblohová složka činitele denní osvětlenosti, protože tyto body jsou umístěny nad nadpražím osvětlovacího otvoru. V testové situaci 5.11 ve variantě 1 je v důsledku velikosti a umístění osvětlovacího otvoru hodnota vnější odražené složky od terénu v jednotlivých bodech menší než v testové situaci 5.11 ve variantě 2. Z obr. 5.3.3 je také patrné, že ve variantě 1 dopadá do hodnocených bodů odražené světlo od části terénu, kde jas terénu v horizontální rovině již dosahuje zhruba 85 %

jasu nezastíněného terénu. Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu Daysim včetně vlivu překážek na jas terénu se tedy v bodech A až F ve variantě 1 (viz tab. 5.3.5) víceméně shodují s referenčními hodnotami stanovenými pro jednotný jas terénu, protože ve variantě 1 není hodnota činitele denní osvětlenosti ovlivněna terénem s výrazně nižším jaselem, než je jas nezastíněného terénu. Nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby 7,81 % byla v programu Daysim zjištěna v bodě C. Naopak nejméně se z hlediska relativní chyby liší vypočtená hodnota od referenční hodnoty v bodě B, kde relativní chyba činí -0,94 %. Pro body A až F pro testovanou variantu 1 je kritérium $rMBE$ rovno -1,73 % a kritérium $rRMSE$ je 4,15 %.

Ve variantě 2 testové situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006 je hodnocená místnost osvětlována bočním osvětlovacím otvorem o velikosti 4 m × 3 m (tj. plocha celé přední stěny místnosti). Do hodnocených bodů v zadní rovině stěny se tedy ve variantě 2 odráží také světlo od terénu přímo před hodnocenou místností (viz obr. 5.3.3). Jas a také osvětlenost v horizontální rovině je na terénu přímo před hodnocenou místností výrazně nižší než u nezastíněného terénu s jednotným jaselem. Do hodnocených bodů A až F se proto ve variantě 2 odrazí od zastíněného terénu méně denního světla, než by se odrazilo od nezastíněného terénu s jednotným jaselem. Z těchto důvodů se hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu Daysim včetně vlivu překážek na jas terénu ve variantě 2 liší od referenčních hodnot pro (nezastíněný) terén s jednotným jaselem, jak je patrné z tab. 5.3.5. V bodech A až F u místnosti hodnocené ve variantě 2 relativní chyba hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim postupně narůstá od -0,97 % v bodě F až na -12,67 % v bodě A (viz tab. 5.3.5). Z hodnot relativní chyby je zřejmé, že nejvyšší absolutní hodnoty relativní chyby 12,67 % bylo dosaženo v bodě A, ve kterém je nejvyšší podíl odražené složky činitele denní osvětlenosti od terénu. Naopak nejmenší absolutní hodnoty relativní chyby bylo dosaženo v bodě F, ve kterém převažuje oblohová složka činitele denní osvětlenosti. Pro variantu 2 testové situace 5.11 je pro program Daysim kritérium $rMBE$ rovno -6,23 % a kritérium $rRMSE$ činí 7,29 %.

Také ve validacích programů AGi32 ([122] str. 33), NVIDIA Iray ([123] str. 33) byly v bodech zadní stěny místnosti zejména pro variantu 2 zjištěny výpočty nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti, než jsou hodnoty referenční dle metodiky CIE 171: 2006. Dříve publikované hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené programy AGi32 ([122] str. 33), NVIDIA Iray ([123] str. 33) a Radiance ([121] str. 89, 90) pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 v bodech A až F jsou uvedeny v tab. 5.3.9. Pro možnost porovnání s výpočty v programu Daysim v této dizertační práci jsou v tab. 5.3.9 uvedeny také hodnoty rozdílu $\Delta D_{i,sw}$, relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ a hodnotící kritéria $rMBE$ a $rRMSE$. Ve validaci programů Radiance a 3ds Max ([100] str. 55) jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti uvedeny pouze v grafech, ze kterých není možné odečíst hodnoty s přesností na dvě desetinná místa. Validování programu Radiance v bodech A až F testové situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006 bylo však kromě [100] provedeno také v dizertační práci F. Vajkaye ([121] str. 89, 90). Z tab. 5.3.5 a tab. 5.3.9 je tedy patrné, že **hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim v bodech A až F pro oblohu CIE 16 jsou obdobné jako hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené dalšími zpracovateli pro programy AGi32, NVIDIA Iray a Radiance.**

PŮDORYS HODNOCENÉ SITUACE



- $D_{s,A}$ OBLOHOVÁ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti v bodě A
- $D_{s,C}$ OBLOHOVÁ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti v bodě C
- $D_{s,F}$ OBLOHOVÁ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti v bodě F
- L_H JAS NEZASTÍNĚNÉ HORIZONTÁLNÍ ROVINY TERÉNU S Činitelem odrazu 0,30 PRO denní osvětlenost nezastíněné horizontální roviny $E_H = 5000$ LX PŘI ROVNOMĚRNĚ ZATAŽENÉ OBLOZE
- L_i JAS HORIZONTÁLNÍ ROVINY TERÉNU S Činitelem odrazu 0,30 V i -TÉ VZDÁLENOSTI OD HODNOCENÉ MÍSTNOSTI PRO denní osvětlenost nezastíněné horizontální roviny $E_H = 5000$ LX PŘI ROVNOMĚRNĚ ZATAŽENÉ OBLOZE
- $D_{t,A}$ VNĚJŠÍ ODRAŽENÍ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti od terénu v bodě A
- $D_{t,C}$ VNĚJŠÍ ODRAŽENÍ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti od terénu v bodě C
- $D_{t,F}$ VNĚJŠÍ ODRAŽENÍ SLOŽKA Činitele denní osvětlenosti od terénu v bodě F

Obr. 5.3.3 Vliv hodnocené místnosti na jas terénu pro testovou situaci 5.11 uvedenou v metodice CIE 171: 2006 (hodnoty jasu terénu stanoveny výpočtem v programu Daysim 3.1b), grafické znázornění oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti dopadající do vybraných bodů v rovině zadní stěny místnosti (autor)

Tab. 5.3.9: Referenční a v programech AGi32, NVIDIA Iray a Radiance vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavění tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 33, [123] str. 32 a [121] str. 89, 90)

testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,95	1,06	1,28	1,71	2,06	2,14
AGi32	$D_{i,sw}$ [122]	[%]	0,94	1,07	1,19	1,51	1,87	2,02
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,01	0,01	-0,09	-0,20	-0,19	-0,12
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-1,05	0,94	-7,03	-11,70	-9,22	-5,61
	rMBE	[%]	-5,51					
	rRMSE	[%]	7,13					
NVIDIA Iray	$D_{i,sw}$ [123]	[%]	0,92	1,05	1,27	1,71	2,06	2,14
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,03	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-3,16	-0,94	-0,78	0,00	0,00	0,00
	rMBE	[%]	-0,81					
	rRMSE	[%]	1,38					
Radiance	$D_{i,sw}$ [121]	[%]	0,91	1,04	0,98	1,38	1,98	2,11
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,04	-0,02	-0,30	-0,33	-0,08	-0,03
	$\Delta d_{i,sw}$ [121]	[%]	-4,21	-1,89	-23,44	-19,30	-3,88	-1,40
	rMBE	[%]	-9,02					
	rRMSE	[%]	12,65					
testová situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m bez zasklení								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	5,29	6,46	7,67	8,88	9,73	10,29
AGi32	$D_{i,sw}$ [122]	[%]	4,67	5,73	6,90	8,01	9,12	9,90
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,62	-0,73	-0,77	-0,87	-0,61	-0,39
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-11,72	-11,30	-10,04	-9,80	-6,27	-3,79
	rMBE	[%]	-8,82					
	rRMSE	[%]	9,27					
NVIDIA Iray	$D_{i,sw}$ [123]	[%]	4,91	6,14	7,41	8,60	9,54	10,26
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,38	-0,32	-0,26	-0,28	-0,19	-0,03
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-7,18	-4,95	-3,39	-3,15	-1,95	-0,29
	rMBE	[%]	-3,49					
	rRMSE	[%]	4,11					
Radiance	$D_{i,sw}$ [121]	[%]	4,18	5,34	6,67	8,07	9,23	9,65
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-1,11	-1,12	-1,00	-0,81	-0,50	-0,64
	$\Delta d_{i,sw}$ [121]	[%]	-20,98	-17,34	-13,04	-9,12	-5,14	-6,22
	rMBE	[%]	-11,97					
	rRMSE	[%]	13,29					
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech A až F pro testovanou variantu.								

U hodnocených bodů v rovině stropu a zadní stěny je hodnota činitele denní osvětlenosti z části nebo zcela tvořena vnější odraženou složkou od terénu, která je pro testovou situaci 5.11 v metodice CIE 171: 2006 stanovena pro jednotný jas terénu. V současnosti jsou simulace denního osvětlení prováděny obvykle za využití metod, které zohledňují vliv vzájemného stínění překážek na jejich jas. Jsou-li světelné simulace provedeny včetně vlivu vzájemného stínění, lze v bodech zahrnujících odraženou složku činitele denní osvětlenosti očekávat odlišné hodnoty činitele denní osvětlenosti, než jsou referenční hodnoty stanovené v testové

situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro terén s jednotným jasem. U světelných simulací zohledňujících vliv vzájemného stínění překážek na jejich jas lze tedy u testové situace 5.11 dle metodiky CIE 171: 2006 provést validaci v bodech, ve kterých je hodnota činitele denní osvětlenosti tvořena pouze oblohovou složkou bez vnější odražené složky od terénu (tj. body E až N pro variantu 1 a body G až N pro variantu 2 této testové situace).

5.3.2.4 Testová situace 5.12 dle metodiky CIE 171: 2006

5.3.2.4.1 Popis testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006

Cílem testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 je ověření přesnosti programu při stanovení oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti v místnosti s bočním denním osvětlením zajištěným zaskleným osvětlovacím otvorem ve stěně místnosti. V testové situaci 5.12 je hodnocena stejná místnost jako v testové situaci 5.11, a to včetně dvou variant velikostí bočních osvětlovacích otvorů a rozmístění hodnocených bodů (viz obr. 5.3.2). Jediným rozdílem oproti testové situaci 5.11 je, že v testové situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 je uvažován boční osvětlovací otvor zasklený čirým sklem tloušťky 6 mm. Obdobně jako v testové situaci 5.10 však v metodice CIE 171: 2006 není uvedena konkrétní hodnota světelné propustnosti tohoto zasklení, jak je zmíněno také v [42]. Ve validacích programů AGi32 [122], NVIDIA Iray [123] a DIALux 4.12 [92] je v této testové situaci stejně jako u testové situace 5.10 použita hodnota světelné propustnosti 0,91. Použití hodnoty světelné propustnosti 0,91 ve validacích ([122] str. 35) a ([123] str. 33) je odůvodněno předchozím použitím této hodnoty v testové situaci 5.10.

5.3.2.4.2 Validování programu Daysim pro testovou situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006

Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro typ oblohy CIE 16 (rovnoměrně zatažená) jsou v programu Daysim pro testovou situaci 5.12 stanoveny pro místnost popsanou v kapitole 5.3.2.3.1 a zobrazenou na obr. 5.3.2. Simulační parametry použité pro výpočty v programu Daysim jsou uvedeny v tab. 5.1.1. Vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

Ve světelných simulacích je stejně jako v testové situaci 5.10 použita světelná propustnost zasklení $\tau_{\beta=0^\circ} = 0,88$ dle vzorce (5.3.1). Protože metodika CIE 171: 2006 neuvádí konkrétní hodnotu světelné propustnosti zasklení, jsou **veškerá porovnání vypočtených a referenčních hodnot v testové situaci 5.12 pouze orientační** stejně jako u testové situace 5.10.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu Daysim pro testovou situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 jsou včetně hodnotících kritérií uvedeny v tab. 5.3.10 (body A až F), tab. 5.3.11 (body G až N) a tab. 5.3.12 (body G' až N'). Nejvyšší (nejnižší) absolutní hodnoty hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$, $\Delta d_{i,sw}$ jsou v tab. 5.3.10 až tab. 5.3.12 vyznačeny červeně (modře) pro jednotlivé hodnocené skupiny bodů.

Referenční hodnoty pro body v rovině zadní stěny a stropu, ve kterých je obsažena vnější odražená složka od terénu, jsou v metodice CIE 171: 2006 pro testovou situaci 5.12 stanoveny pro **terén s jednotným jasem** obdobně jako v předchozí testové situaci 5.11. Jak již bylo uvedeno ve vyhodnocení pro testovou situaci 5.11, program Daysim stanovuje hodnoty činitele denní osvětlenosti včetně vlivu překážek na jejich jas. **Lze tedy očekávat, že vypočtené**

hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech, ve kterých je zastoupena vnější odražená složka od terénu, se budou lišit od referenčních hodnot obdobně jako v testové situaci 5.11.

Tab. 5.3.10: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m se zasklením								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,84	0,94	1,12	1,50	1,81	1,89
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,83	0,94	0,96	1,50	1,79	1,88
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,01	0,00	-0,16	0,00	-0,02	-0,01
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-1,19	0,00	-14,29	0,00	-1,10	-0,53
	rMBE	[%]	-2,85					
	rRMSE	[%]	5,87					
testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m se zasklením								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	4,65	5,69	6,75	7,82	8,56	9,04
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	4,16	5,21	6,42	7,32	8,29	8,89
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,49	-0,48	-0,33	-0,50	-0,27	-0,15
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-10,54	-8,44	-4,89	-6,39	-3,15	-1,66
	rMBE	[%]	-5,84					
	rRMSE	[%]	6,58					
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech A až F pro testovanou variantu.								

Tab. 5.3.11: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m se zasklením										
hodnocený bod <i>i</i>			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,83	1,21	1,81	2,78	4,28	6,26	7,02	2,13
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,89	1,17	1,82	2,77	4,26	6,15	6,85	2,05
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	0,06	-0,04	0,01	-0,01	-0,02	-0,11	-0,17	-0,08
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	7,23	-3,31	0,55	-0,36	-0,47	-1,76	-2,42	-3,76
	rMBE	[%]	-0,54							
	rRMSE	[%]	3,30							
testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m se zasklením										
hodnocený bod <i>i</i>			G	H	I	J	K	L	M	N
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	3,94	5,36	7,41	10,34	14,42	19,74	25,70	30,40
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	3,95	5,31	7,46	10,32	14,29	19,63	25,52	30,10
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	0,01	-0,05	0,05	-0,02	-0,13	-0,11	-0,18	-0,30
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	0,25	-0,93	0,67	-0,19	-0,90	-0,56	-0,70	-0,99
	rMBE	[%]	-0,42							
	rRMSE	[%]	0,71							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G až N pro testovanou variantu.										

Tab. 5.3.12: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G' až N' testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m se zasklením										
hodnocený bod <i>i</i>			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,33	0,46	0,65	0,94	1,34	1,80	1,85	0,53
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,32	0,41	0,58	0,82	1,12	1,42	1,37	0,34
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,01	-0,05	-0,07	-0,12	-0,22	-0,38	-0,48	-0,19
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-3,03	-10,87	-10,77	-12,77	-16,42	-21,11	-25,95	-35,85
	$rMBE$	[%]	-17,09							
	$rRMSE$	[%]	19,62							
testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m se zasklením										
hodnocený bod <i>i</i>			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	1,52	2,00	2,66	3,57	4,80	6,36	8,09	9,55
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	1,33	1,75	2,31	3,10	4,21	5,55	7,13	8,38
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,19	-0,25	-0,35	-0,47	-0,59	-0,81	-0,96	-1,17
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-12,50	-12,50	-13,16	-13,17	-12,29	-12,74	-11,87	-12,25
	$rMBE$	[%]	-12,56							
	$rRMSE$	[%]	12,57							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G' až N' pro testovanou variantu.										

Stejně jako u předchozí testové situace byla i v testové situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 zjištěna nejvyšší shoda vypočtených a referenčních hodnot pro body G až N v rovině podlahy. V těchto bodech je hodnota činitele denní osvětlenosti tvořena jen oblohovou složkou. Pro testovanou variantu 1 místnosti s oknem rozměrů 2 m × 1 m byla zjištěna nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ v bodě G ($|\Delta d_{G,sw}| = 7,23\%$) a naopak nejnižší absolutní hodnota relativní chyby $\Delta d_{i,sw}$ v bodě J ($|\Delta d_{J,sw}| = 0,36\%$). V případě místnosti s oknem vysokým 3 m a širokým 4 m (varianta 2) se nejméně liší od referenční hodnoty hodnota vypočtená v bodě J, kde $\Delta d_{J,sw} = -0,19\%$. Naopak maximální absolutní hodnota relativní chyby byla pro body v rovině podlahy pro variantu 2 zjištěna v bodě N ($|\Delta d_{N,sw}| = 0,99\%$). Hodnotící kritérium $rMBE$ pro skupinu bodů G až N u varianty 1 činí -0,54 % a -0,42 % u varianty 2. Kritérium $rRMSE$ pro body v rovině podlahy je rovno 3,30 % pro variantu 1 a 0,71 % pro variantu 2.

Činitel denní osvětlenosti v bodech G' až N' v rovině stropu je tvořen pouze vnější odraženou složkou od terénu. V testované variantě 1 jsou vypočtené hodnoty nižší než referenční hodnoty o 3,03 % (bod G') až 35,85 % (bod N). V případě varianty 2 jsou programem Daysim stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti nižší zhruba o 12 % až 13 % než hodnoty referenční. Pro variantu 1 kritérium $rMBE$ činí -17,09 % a kritérium $rRMSE$ je 19,62 %. U varianty 2 hodnota kritéria $rMBE$ rovna -12,56 % a hodnota kritéria $rRMSE$ dosahuje 12,57 %.

Obdobně jako u programu Daysim také ve validacích programů AGi32 ([122] str. 36), NVIDIA Iray ([123] str. 34), Radiance a 3ds Max ([100] str. 55) byly v bodech G' až N' zjištěny pro oblohu CIE 16 nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti, než jsou referenční hodnoty uvedené v metodice CIE 171: 2006 pro testovou situaci 5.12. Pro názornost jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené pro typ oblohy CIE 16 programy AGi32 ([122]

str. 36) a NVIDIA Iray ([123] str. 34) uvedeny v tab. 5.3.13. Pro možnost porovnání s vyhodnocením pro program Daysim jsou v tab. 5.3.13 vyčíslena také stejná hodnotící kritéria, která jsou použita pro program Daysim. **Nesoulad referenčních a vypočtených hodnot v bodech G' až N' v rovině stropu je způsoben stanovením referenčních hodnot v metodice CIE 171: 2006 bez zohlednění vlivu testované místnosti na jas terénu, jak již bylo uvedeno výše u situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006.**

Tab. 5.3.13: Referenční a v programech AGi32 a NVIDIA Iray vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G' až N' pro testovou situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavení tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 36 a [123] str. 34)

testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m se zasklením										
hodnocený bod i			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,33	0,46	0,65	0,94	1,34	1,80	1,85	0,53
AGi32	$D_{i,sw}^{1)}$ [122]	[%]	0,32	0,44	0,62	0,88	1,15	1,43	1,21	0,32
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,01	-0,02	-0,03	-0,06	-0,19	-0,37	-0,64	-0,21
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-3,03	-4,35	-4,62	-6,38	-14,18	-20,56	-34,59	-39,62
	rMBE	[%]	-15,92							
	rRMSE	[%]	20,86							
NVIDIA Iray	$D_{i,sw}^{1)}$ [123]	[%]	0,31	0,43	0,59	0,84	1,17	1,52	1,52	0,44
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,02	-0,03	-0,06	-0,10	-0,17	-0,28	-0,33	-0,09
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-6,06	-6,52	-9,23	-10,64	-12,69	-15,56	-17,84	-16,98
	rMBE	[%]	-11,94							
	rRMSE	[%]	12,68							
testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m se zasklením										
hodnocený bod i			G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	1,52	2,00	2,66	3,57	4,80	6,36	8,09	9,55
AGi32	$D_{i,sw}^{1)}$ [122]	[%]	1,28	1,68	2,24	3,00	4,07	5,46	7,05	7,22
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,24	-0,32	-0,42	-0,57	-0,73	-0,90	-1,04	-2,33
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-15,79	-16,00	-15,79	-15,97	-15,21	-14,15	-12,86	-24,40
	rMBE	[%]	-16,27							
	rRMSE	[%]	16,59							
NVIDIA Iray	$D_{i,sw}^{1)}$ [123]	[%]	1,32	1,73	2,30	3,10	4,21	5,66	7,40	8,95
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,20	-0,27	-0,36	-0,47	-0,59	-0,70	-0,69	-0,60
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-13,16	-13,50	-13,53	-13,17	-12,29	-11,01	-8,53	-6,28
	rMBE	[%]	-11,43							
	rRMSE	[%]	11,71							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech G' až N' pro testovanou variantu.										
Vysvětlivky: 1) Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly ve validacích [122] str. 30 a [123] str. 29. stanoveny pro světelnou propustnost zasklení 0,91.										

Hodnota činitele denní osvětlenosti je tvořena vnější odraženou složkou od terénu nejen v bodech v rovině stropu, ale také v některých bodech v rovině zadní stěny místnosti. Ve variantě 1 se pro program Daysim relativní chyba vypočtených a referenčních hodnot pohybuje kromě bodu C v rozmezí -1,19 % až 0,00 %. V bodě C je relativní chyba vypočtené hodnoty od hodnoty referenční -14,29 %. V případě varianty 2 jsou vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti menší než hodnoty referenční o 1,66 % (bod F) až 10,54 % (bod A). Kritérium *rMBE* činí -2,85 % pro variantu 1 a -5,84 % pro variantu 2. Hodnota kritéria *rRMSE* je 5,87 % pro variantu 1 a 6,58 % pro variantu 2. V případě varianty 1 je hodnota *rRMSE* dána zejména vysokou relativní chybou v bodě C.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené programem Daysim pro oblohu CIE 16 v bodech A až F testové situace 5.12 lze pomocí tab. 5.3.14 porovnat s validacemi pro programy Radiance ([121] str. 91, 92), AGi32 ([122] str. 36) a NVIDIA Iray ([123] str. 34). Z porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti v tab. 5.3.10 a tab. 5.3.14 je patrné, hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené pro typ oblohy CIE 16 programem Daysim v bodech A až F testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 jsou obdobné jako hodnoty publikované F. Vajkayem pro program Radiance ([121] str. 91, 92) a společností Dau Design and Consulting pro programy AGi32 ([122] str. 36), NVIDIA Iray ([123] str. 34).

Vyšší shodu referenčních a vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti v bodech A až F testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 ve variantě 1 oproti variantě 2 lze s využitím obr. 5.3.3 vysvětlit analogicky jako v případě testové situace 5.11 metodiky CIE 171: 2006. Tedy ve variantě 1 se do hodnocených bodů odráží vnější odražená složka od vzdálenější části terénu, jehož jas se blíží jasu nezastíněného terénu. Zatímco ve variantě 2 je vnější odražená složka od terénu tvořena také osvětleností odraženou od terénu bezprostředně před hodnocenou místností, kde je oproti nezastíněnému terénu jas terénu výrazně snížen zastíněním hodnocenou místností. Ve variantě 1 je dále vnější odražená složka přítomna pouze u bodů nad rovinou parapetu okna (tj. body A až D), ale ve variantě 2 se vnější odražená složka od terénu podílí na celkové hodnotě činitele denní osvětlenosti ve všech hodnocených bodech v rovině zadní stěny místnosti.

Pokud by v testové situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 byla uvedena konkrétní hodnota propustnosti světla zasklením místnosti, bylo by v této testové situaci možné provést ověření přesnosti programu pro stejné body jako v testové situaci 5.11. Protože však z hlediska propustnosti zasklení nejsou okrajové podmínky testové situace jednoznačné, bylo namísto validace provedeno pro tuto testovou situaci pouze porovnání a vyhodnocení vypočtených a referenčních hodnot.

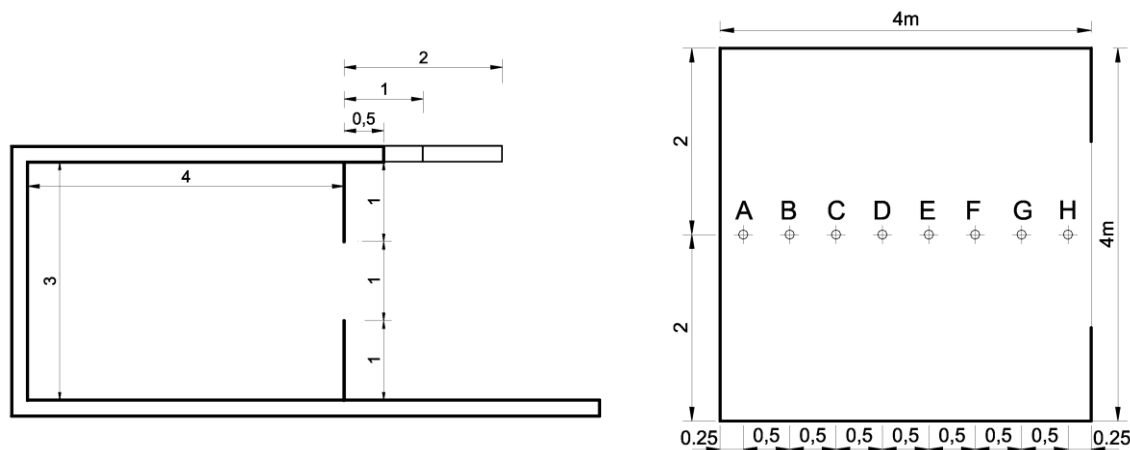
Tab. 5.3.14: Referenční a v programech AGi32, NVIDIA Iray a Radiance vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavění tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 36, [123] str. 34 a [121] str. 91, 92)

testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m se zasklením								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,84	0,94	1,12	1,50	1,81	1,89
AGi32	D_{i,sw^1} [122]	[%]	0,82	0,93	1,04	1,32	1,63	1,76
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,02	-0,01	-0,08	-0,18	-0,18	-0,13
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-2,38	-1,06	-7,14	-12,00	-9,94	-6,88
	rMBE	[%]	-6,57					
	rRMSE	[%]	7,62					
NVIDIA Iray	D_{i,sw^1} [123]	[%]	0,81	0,92	1,11	1,49	1,80	1,87
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,03	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-3,57	-2,13	-0,89	-0,67	-0,55	-1,06
	rMBE	[%]	-1,48					
	rRMSE	[%]	1,82					
Radiance	D_{i,sw^2} [121]	[%]	0,81	0,94	0,91	1,30	1,83	1,95
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,03	0,00	-0,21	-0,20	0,02	0,06
	$\Delta d_{i,sw}$ [121]	[%]	-3,57	0,00	-18,75	-13,33	1,10	3,17
	rMBE	[%]	-5,23					
	rRMSE	[%]	9,60					
testová situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 4 m × 3 m se zasklením								
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	4,65	5,69	6,75	7,82	8,56	9,04
AGi32	D_{i,sw^1} [122]	[%]	4,08	4,99	6,06	7,01	7,95	8,68
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,57	-0,70	-0,69	-0,81	-0,61	-0,36
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-12,26	-12,30	-10,22	-10,36	-7,13	-3,98
	rMBE	[%]	-9,37					
	rRMSE	[%]	9,83					
NVIDIA Iray	D_{i,sw^1} [123]	[%]	4,32	5,40	6,51	7,54	8,35	8,97
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,33	-0,29	-0,24	-0,28	-0,21	-0,07
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-7,10	-5,10	-3,56	-3,58	-2,45	-0,77
	rMBE	[%]	-3,76					
	rRMSE	[%]	4,25					
Radiance	D_{i,sw^2} [121]	[%]	3,79	5,04	6,14	7,14	8,13	8,87
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,86	-0,65	-0,61	-0,68	-0,43	-0,17
	$\Delta d_{i,sw}$ [121]	[%]	-18,49	-11,42	-9,04	-8,70	-5,02	-1,88
	rMBE	[%]	-9,09					
	rRMSE	[%]	10,48					
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech A až F pro testovanou variantu.								
Vysvětlivky: 1) Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly ve validacích [122] str. 30 a [123] str. 29. stanoveny pro světelnou propustnost zasklení 0,91. 2) Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly ve validaci [121] stanoveny pro světelnou propustnost zasklení 0,90 (viz [121] str. 63).								

5.3.2.5 Testová situace 5.13 dle metodiky CIE 171: 2006

5.3.2.5.1 Popis testové situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006

Cílem testové situace 5.13 je ověřit přesnost programu při výpočtu oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti u místnosti, jejíž osvětlovací otvor je stíněn kontinuální horizontální překážkou nad oknem. Hodnocená místnost je zobrazena na obr. 5.3.4. Jedná se o místnost čtvercového půdorysu s délkou strany 4 m. Výška místnosti je 3 m. Denní osvětlení místnosti je zajištěno osvětlovacím otvorem bez výplně širokým 2 m a vysokým 1 m (výška parapetu 1 m), který je umístěn uprostřed stěny. Tloušťka ostění osvětlovacího otvoru je nulová. Z hlediska tvaru místnosti a velikosti osvětlovacího otvoru se tedy jedná o totožnou místnost jako ve variantě 1 testové situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006. Ve výšce 1 m nad horní hranou osvětlovacího otvoru se ze strany exteriéru nachází kontinuální horizontální překážka, jejíž vyložení před osvětlovací otvor je uvažováno ve třech variantách: 0,5 m (varianta 1), 1,0 m (varianta 2) a 2,0 m (varianta 3). Přesnost výpočtu činitele denní osvětlenosti má být ověřena pro osm bodů (A až H), které jsou umístěny v rovině podlahy místnosti (viz obr. 5.3.4).



Obr. 5.3.4 Schéma řezu (vlevo) a půdorysu (vpravo) místnosti pro testovou situaci 5.13 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 24, 25)

Veškeré vnitřní povrchy místnosti mají nulovou hodnotu činitele odrazu světla. Terén je uvažován s činitelem odrazu světla 0,30. **Metodika CIE 171: 2006 však neuvádí hodnotu činitele odrazu světla pro horizontální překážku nad oknem.** Okrajové podmínky úlohy tedy nejsou kompletní, na což již v minulosti upozornil I. Ashdown [42]. Ve dříve publikované validaci pro program AGi32 podle této testové situace byla pro horizontální překážku použita hodnota činitele odrazu světla 0,50 ([122] str. 32). S odkázáním na předchozí validování programu AGi32 [122] byla hodnota činitele odrazu světla 0,50 od horizontální překážky použita i při validaci programu DIALux 4.12 [92]. F. Vajkay provedl validace programů dle této testové situace pro činitel odrazu světla od horizontální překážky 0,30 ([121] str. 62 – 63).

Dalším problémem při validování programů v této testové situaci může být obdobně jako v testových situacích 5.11 a 5.12 i to, že **terén je opět uvažován s jednotným jasnem. Navíc testová situace 5.13 předpokládá jednotný jas také u horizontální stínící překážky.** U testové situace 5.13 je však na rozdíl od testových situací 5.11 a 5.12 již přímo v metodice

CIE 171: 2006 uvedeno, že při vyhodnocení validací programů, které nepodporují jednotný jas povrchů, by měly být tyto okrajové podmínky zohledněny. Jednotný jas terénu a venkovní překážky je dle čl. 5.13 metodiky CIE 171: 2006 použit z důvodu možnosti analytického řešení úlohy, přičemž referenční hodnoty vnější odražené složky jsou v metodice stanoveny zjednodušeným výpočtem a hodnoty oblohové složky jsou stanoveny pomocí simulace v programu Skylux (viz čl. 5.13.1 metodiky CIE 171: 2006).

5.3.2.5.2 Validování programu Daysim pro testovou situaci 5.13 metodiky CIE 171: 2006

Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly v programu Daysim stanoveny pro typ oblohy CIE 16 (rovnoměrně zatažená) pro všechny tři varianty vyložení horizontální překážky uvažované v testové situaci 5.13. Hodnocená místnost je popsána v kapitole 5.3.2.5.1 a včetně hodnotících bodů je místnost zobrazena na obr. 5.3.4. Světelné simulace byly v programu Daysim provedeny pro parametry uvedené v tab. 5.1.1 a vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

Protože metodika CIE 171: 2006 neuvádí hodnotu činitele odrazu světla od horizontální překážky, bude použita hodnota činitele odrazu světla 0,5 stejně jako při validování programu AGi32 ([122] str. 32). Metodika CIE 171: 2006 předpokládá jednotný jas terénu i horizontální překážky nad oknem. Reálně však jas terénu a horizontální překážky jednotný není v důsledku vzájemného stínění překážek. Světelné simulace v programu Daysim se provádí včetně zahrnutí vlivu jednotlivých objektů na jas povrchů, proto lze předpokládat, že se hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim budou lišit od referenčních hodnot publikovaných v metodice CIE 171: 2006 pro testovou situaci 5.13.

Pro testované varianty délek horizontální překážky nad oknem jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti uvedeny v tab. 5.3.15, ve které jsou také vyčíslena jednotlivá hodnotící kritéria. **U testové situace 5.13 ve variantě s horizontální překážkou s vyložení 1 m (varianta 2) jsou v metodice CIE 171: 2006 uvedeny pro typ oblohy CIE 16 chybné referenční hodnoty** (viz také referenční hodnoty pro oblohu CIE 16 uvedené v tab. 5.3.15), jak již bylo v minulosti upozorněno také například v [122] str. 39, [123] str. 38, [121] str. 94. Horizontální překážka délky 1 m neredukuje oblohovou složku činitele denní osvětlenosti v bodech A až D (viz obr. 5.3.5), proto jsou pro alespoň orientační vyhodnocení testové situace 5.13 ve variantě 2 použity v tab. 5.3.15 následující hodnoty činitele denní osvětlenosti:

- a) body A až D: hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech G až J publikované v metodice CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 v testové situaci 5.11 pro nezastíněný osvětlovací otvor rozměrů 2 m × 1 m;
- b) body E až H: hodnoty uvedené v metodice CIE 171: 2006 pro testovou situaci 5.13 ve variantě 2 v bodech E až H pro typ oblohy CIE 1, která má podobné rozložení jasů jako rovnoměrně zatažená obloha CIE 16.

Pro horizontální překážku s vyložení délky 0,5 m (varianta 1) byla zjištěna nejvyšší relativní chyba vypočtené hodnoty v bodě H, kde byla programem Daysim vypočtena hodnota vyšší o 38,10 % než referenční hodnota. V bodech A až G se ve variantě 1 pohybují absolutní hodnoty relativní chyby od 0,40 % (bod F) do 7,25 % (bod B). Kritérium $rMBE$ pro variantu 1 činí 3,43 % a kritérium $rRMSE$ je 13,99 % zejména v důsledku vysoké relativní chyby v bodě H.

Tab. 5.3.15: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až H testové situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

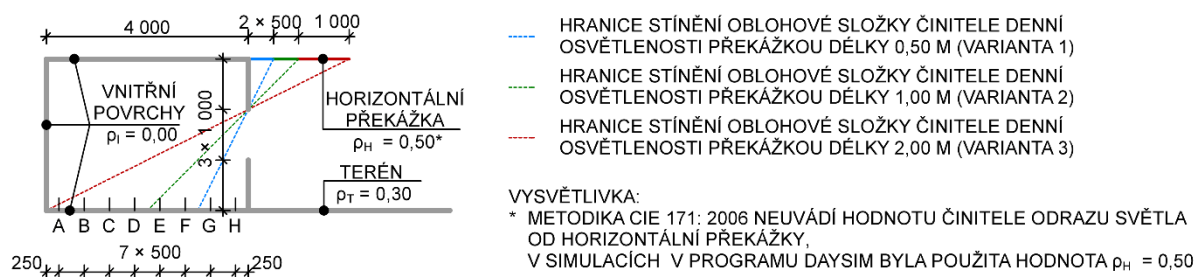
testová situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení, horizontální překážka s vyložení 0,50 m										
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F	G	H
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,95	1,38	2,07	3,19	4,97	7,42	8,07	0,21
Daysim	$D_{i,SW}$	[%]	0,99	1,28	2,04	3,14	5,03	7,45	7,57	0,29
	$\Delta D_{i,SW}$	[p. b.]	0,04	-0,10	-0,03	-0,05	0,06	0,03	-0,50	0,08
	$\Delta d_{i,SW}$	[%]	4,21	-7,25	-1,45	-1,57	1,21	0,40	-6,20	38,10
	$rMBE$	[%]	3,43							
	$rRMSE$	[%]	13,99							
testová situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení, horizontální překážka s vyložení 1,00 m										
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F	G	H
CIE 171: 2006 ¹⁾	$D_{i,ref}$	[%]	2,22	3,12	4,57	6,99	10,13	12,33	8,73	0,41
CIE 171: 2006 ²⁾	$D_{i,ref}$	[%]	0,95 ^{2a)}	1,38 ^{2a)}	2,07 ^{2a)}	3,19 ^{2a)}	4,68 ^{2b)}	5,69 ^{2b)}	4,08 ^{2b)}	0,21 ^{2b)}
Daysim	$D_{i,SW}$	[%]	0,93	1,34	2,11	3,15	4,34	5,32	3,58	0,27
	$\Delta D_{i,SW}$	[p. b.]	-0,02	-0,04	0,04	-0,04	-0,34	-0,37	-0,50	0,06
	$\Delta d_{i,SW}$	[%]	-2,11	-2,90	1,93	-1,25	-7,26	-6,50	-12,25	28,57
	$rMBE$	[%]	-0,22							
	$rRMSE$	[%]	11,62							
testová situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006, varianta 3: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení, horizontální překážka s vyložení 2,00 m										
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F	G	H
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,90	1,16	1,52	1,90	2,20	1,68	0,40	0,21
Daysim	$D_{i,SW}$	[%]	0,89	1,05	1,55	1,88	2,20	1,71	0,57	0,22
	$\Delta D_{i,SW}$	[p. b.]	-0,01	-0,11	0,03	-0,02	0,00	0,03	0,17	0,01
	$\Delta d_{i,SW}$	[%]	-1,11	-9,48	1,97	-1,05	0,00	1,79	42,50	4,76
	$rMBE$	[%]	4,92							
	$rRMSE$	[%]	15,53							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,SW}$ a $\Delta d_{i,SW}$ v bodech A až H pro testovanou variantu.										
Vysvětlivky: 1) Chybné hodnoty činitele denní osvětlenosti publikované v metodice CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16. 2) Hodnoty činitele denní osvětlenosti použité v dizerační práci pro vyhodnocení varianty 2 testové situace 5.13 pro oblohu CIE 16: 2a) body A až D testové situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006: hodnoty publikované metodikou CIE 171: 2006 pro oblohu CIE 16 pro místnost s osvětlovacím otvorem rozměrů 2 m × 1 m v testové situaci 5.11 v bodech G až J; 2b) body E až H testové situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006: hodnoty uvedené v metodice CIE 171: 2006 pro testovou situaci 5.13 ve variantě 2 v bodech E až H pro typ oblohy CIE 1.										

U horizontální překážky s přesahem 1 m před průčelí hodnocené místnosti (varianta 2) uvádí metodika CIE 171: 2006 chybné referenční hodnoty pro oblohu CIE 16, a proto byly pro orientační vyhodnocení použity jako referenční hodnoty, které jsou uvedeny včetně vysvětlení v předcházejícím textu a také v tab. 5.3.15. Stejně jako ve variantě 1 byla i ve variantě 2 zjištěna nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby v bodě H, kde je referenční hodnota nižší o 28,57 % než hodnota vypočtená. V ostatních bodech je absolutní hodnota relativní chyby v rozmezí 1,25 % (bod D) až 12,25 % (bod G). Souhrnná hodnotící kritéria pro body A až H jsou $rMBE = -0,22 \%$ a $rRMSE = 11,62 \%$.

Ve variantě 3 testové situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006 se nad osvětlovacím otvorem místnosti nachází horizontální překážka s délkou vyložení 2 m. Na rozdíl od předcházejících dvou variant je nejvyšší relativní chyba vypočtené hodnoty od hodnoty referenční stanovena

pro bod G ($\Delta d_{G, SW} = 42,50 \%$). V dalších hodnocených bodech se absolutní hodnota relativní chyby nachází v rozmezí 0,00 % (bod E) až 9,48 % (bod B). Kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ dosáhla pro variantu 3 nejvyšší hodnoty z hodnocených variant, když $rMBE$ je rovno 4,92 % a $rRMSE$ činí 15,53 %.

Lze tedy shrnout, že hodnoty činitele denní osvětlenosti vypočtené programem Daysim se liší od referenčních zejména v bodě H pro varianty 1 a 2 a v bodě G pro variantu 3. Z obr. 5.3.5 je přitom patrné, že oblohová složka činitele denní osvětlenosti je horizontální překážkou nad oknem redukována ve variantě 1 v bodech G a H, ve variantě 2 v bodech E až H a ve variantě 3 ve všech hodnocených bodech. **Programem Daysim tedy byly stanoveny významně odlišné hodnoty činitele denní osvětlenosti zejména v bodech, ve kterých se do hodnoty činitele denní osvětlenosti výrazněji promítá vliv hodnoty činitele odrazu světla od horizontální překážky, kterou metodika CIE 171: 2006 neuvádí.** Hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou v těchto bodech navíc ovlivněny i jasnem horizontální překážky a terénu, který metodika CIE 171: 2006 předpokládá jednotný, ale program Daysim zohledňuje vzájemné stínění překážek.



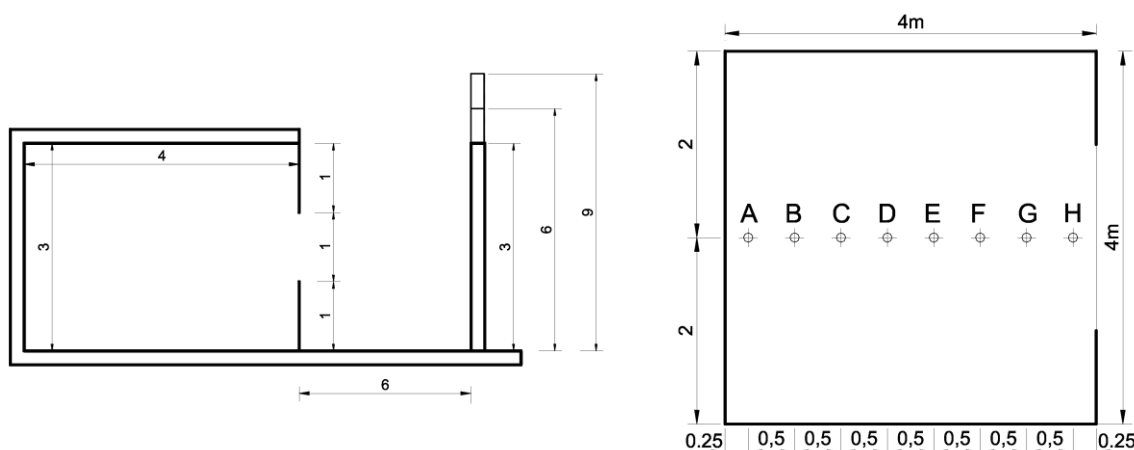
Obr. 5.3.5 Schéma řezu hodnocené místnosti pro testovou situaci 5.13 metodiky CIE 171: 2006 s vyznačením hranice stínění oblohové složky horizontální překážkou pro hodnocené varianty (autor)

Ačkoliv metodika CIE 171: 2006 neuvádí pro testovou situaci 5.13 hodnotu činitele odrazu světla od horizontální překážky a v programu Daysim nebyly simulace denního osvětlení provedeny pro jednotný jas terénu a horizontální překážky, bylo až na výjimky dosaženo poměrně velké shody vypočtených a referenčních hodnot. **Validaci programu Daysim v testové situaci 5.13 je však vzhledem k výše uvedenému možné provést pouze v bodech, ve kterých je hodnota činitele denní osvětlenosti tvořena pouze oblohovou složkou – tzn. body A až F ve variantě 1 a body A až D ve variantě 2.** Pro body A až D však metodika CIE 171: 2006 pro variantu 2 testové situace 5.13 uvádí chybné referenční hodnoty pro oblohu CIE 16, ale pro validaci v těchto bodech lze použít referenční hodnoty pro body G až J varianty 1 testové situace 5.11. Z bodů, ve kterých je hodnota činitele denní osvětlenosti tvořena pouze oblohovou složkou, se nejvíce liší vypočtená a referenční hodnota v bodě B, který je umístěn 0,75 m od zadní stěny místnosti. Testová situace 5.13 odpovídá rozměry místnosti a osvětlovacího otvoru variantě 1 testové situace 5.11. Stejně jako v testové situaci 5.13 byla pro program Daysim i v testové situaci 5.11 zjištěna v bodech v rovině podlahy nejvyšší absolutní hodnota relativní chyby v bodě umístěném ve vzdálenosti 0,75 m od zadní stěny (v testové situaci 5.11 má tento bod označení H).

5.3.2.6 Testová situace 5.14 dle metodiky CIE 171: 2006

5.3.2.6.1 Popis testové situace

Testová situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006 má za cíl ověřit přesnost programu pro simulaci denního osvětlení z hlediska výpočtu oblohové a vnější odražené složky u místnosti, jejíž osvětlovací otvor je stíněn kontinuální vertikální překážkou před oknem. Hodnocená místnost (viz obr. 5.3.6) má stejné rozměry jako místnost ve variantě 1 testové situace 5.11. Šířka a délka místnosti jsou 4 m, světlá výška místnosti je 3 m. Nezasklený osvětlovací otvor šířky 2 m a výšky 1 m (výška parapetu 1 m) je umístěn uprostřed stěny. Tloušťka ostění osvětlovacího otvoru je nulová. Místnost je stíněna vertikální překážkou ve vzdálenosti 6 m, jejíž výška je 3 m (varianta 1), 6 m (varianta 2) a 9 m (varianta 3). Hodnoty činitele denní osvětlenosti mají být z hlediska přesnosti ověřeny v bodech A až H, které jsou umístěny v rovině podlahy dle obr. 5.3.6.



Obr. 5.3.6 Schéma řezu (vlevo) a půdorysu (vpravo) místnosti pro testovou situaci 5.14 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 27)

Vnitřní povrchy místnosti mají činitel odrazu světla roven nule. Terén před hodnocenou místností má činitel odrazu světla 0,30. **Obdobně jako u testové situace 5.13 ani u testové situace 5.14 není uvedena hodnota činitele odrazu světla venkovní překážky**, jak již také dříve publikoval I. Ashdown [42]. Okrajové podmínky testové situace tedy nejsou kompletní. F. Vajkay provedl validace programů dle této testové situace pro činitel odrazu světla od vertikální překážky 0,30 ([121] str. 62 – 63). Při validování programu DIALux 4.12 stanovil R. A. Mangkuto [92] hodnoty činitele denní osvětlenosti pro hodnoty činitele odrazu světla od vertikální překážky 0,50 a 0,90.

Stejně jako u testových situacích 5.11 až 5.13 předpokládá metodika CIE 171: 2006 **jednotný jas terénu. Jas vertikální překážky před oknem místnosti je metodikou CIE 171: 2006 rovněž uvažován jednotný.** V metodice CIE 171: 2006 je za předpokladu jednotného jasu terénu a překážky uveden analytický způsob zjednodušeného stanovení referenční hodnoty vnější odražené složky.

5.3.2.6.2 Validování programu Daysim pro testovou situaci 5.14 metodiky CIE 171: 2006

V programu Daysim byly pro typ oblohy CIE 16 provedeny simulace denního osvětlení pro tři varianty stínění místnosti vertikální překážkou před oknem dle popisu testové situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006, který je uveden v kapitole 5.3.2.6.1. Denní osvětlení bylo v programu Daysim simulováno pro parametry uvedené v tab. 5.1.1 a vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

Metodika CIE 171: 2006 neuvádí, pro jakou hodnotu činitele odrazu světla od vertikální překážky jsou stanoveny referenční hodnoty. V návaznosti na validování programu Daysim v předcházející testové situaci 5.13 bude v testové situaci 5.14 **překážka před oknem místnosti uvažována s činitelem odrazu světla 0,50**.

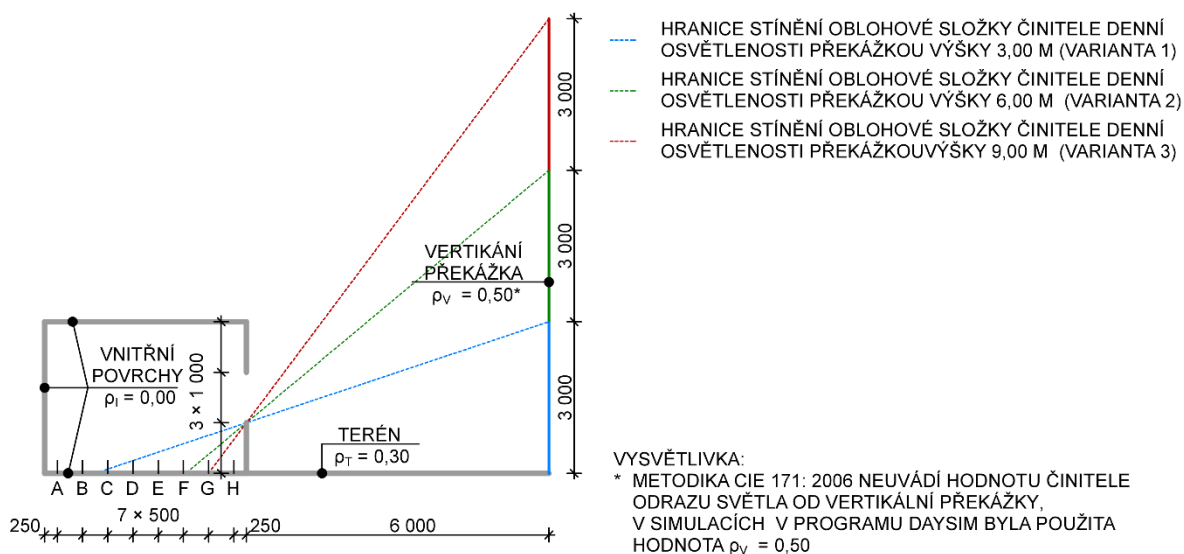
Hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou pro jednotlivé testované varianty výšek vertikální překážky nad oknem uvedeny v tab. 5.3.16. V této tabulce jsou zároveň vyčíslena jednotlivá hodnotící kritéria.

Tab. 5.3.16: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až H testové situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)

testová situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006, varianta 1: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení, vertikální překážka s výškou 3,00 m										
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F	G	H
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,88	1,34	2,07	3,19	4,97	7,42	9,11	5,04
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,88	1,32	2,11	3,24	4,83	7,35	8,83	5,02
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	0,00	-0,02	0,04	0,05	-0,14	-0,07	-0,28	-0,02
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	0,00	-1,49	1,93	1,57	-2,82	-0,94	-3,07	-0,40
	rMBE	[%]	-0,65							
	rRMSE	[%]	1,83							
testová situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006, varianta 2: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení, vertikální překážka s výškou 6,00 m										
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F	G	H
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,42	0,48	0,81	1,78	3,65	7,19	9,11	5,04
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,34	0,41	0,74	1,89	3,78	7,27	8,96	5,05
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,08	-0,07	-0,07	0,11	0,13	0,08	-0,15	0,01
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-19,05	-14,58	-8,64	6,18	3,56	1,11	-1,65	0,20
	rMBE	[%]	-4,11							
	rRMSE	[%]	9,39							
testová situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006, varianta 3: osvětlovací otvor 2 m × 1 m bez zasklení, vertikální překážka s výškou 9,00 m										
hodnocený bod <i>i</i>			A	B	C	D	E	F	G	H
CIE 171: 2006	$D_{i,ref}$	[%]	0,80	0,93	1,08	1,23	1,32	3,93	9,11	5,04
Daysim	$D_{i,sw}$	[%]	0,31	0,42	0,63	0,94	1,31	4,13	9,10	4,99
	$\Delta D_{i,sw}$	[p. b.]	-0,49	-0,51	-0,45	-0,29	-0,01	0,20	-0,01	-0,05
	$\Delta d_{i,sw}$	[%]	-61,25	-54,84	-41,67	-23,58	-0,76	5,09	-0,11	-0,99
	rMBE	[%]	-22,26							
	rRMSE	[%]	33,69							
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,sw}$ a $\Delta d_{i,sw}$ v bodech A až H pro testovanou variantu.										

Pro další analyzování vypočtených a referenčních hodnot je pomocí obr. 5.3.7 proveden rozbor varianty zastínění 5.14 metodiky CIE 171: 2006 z hlediska redukce oblohové složky činitele denní osvětlenosti vertikální překážkou před oknem pro jednotlivé hodnocené body.

Z polohy hranice stínění oblohové složky činitele denní osvětlenosti je patrné, že oblohová složka činitele denní osvětlenosti je vertikální překážkou redukována v bodech A, B ve variantě 1 a v bodech A až F ve variantách 2 a 3. U bodů, kde oblohová složka činitele denní osvětlenosti není redukována, jsou pro oblohu CIE 16 referenční hodnoty v testové situaci 5.14 totožné jako u ekvivalentních bodů v testové situaci 5.11 s osvětlovacím otvorem rozměrů 2 m × 1 m. Z porovnání obr. 5.3.5 a obr. 5.3.7 je také zřejmé, že zatímco horizontální překážka nad oknem v testové situaci 5.13 snižuje oblohovou složku činitele denní osvětlenosti zejména v bodech blíže oknu, vertikální překážka před oknem v testové situaci 5.14 redukuje oblohovou složku činitele denní osvětlenosti především v bodech blíže zadní stěně místnosti.



Obr. 5.3.7 Schéma řezu hodnocené místnosti pro testovou situaci 5.14 metodiky CIE 171: 2006 s vyznačením hranice stínění oblohové složky vertikální překážkou pro hodnocené varianty (autor)

Obdobně jako u testové situace 5.13 lze i u testové situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006 očekávat, že hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim se budou lišit od referenčních hodnot zejména v bodech, kde je zastoupena odražená složka činitele denní osvětlenosti. Uvedené lze předpokládat z následujících důvodů:

- okrajové podmínky testové situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006 nejsou kompletní (chybějící hodnota činitele odrazu světla od venkovní překážky);
- simulace denního osvětlení jsou v programu Daysim provedeny za předpokladu vzájemného stínění objektů a nikoliv pro nereálný jednotný jas terénu a stínící překážky, které jsou předpokládány metodikou CIE 171: 2006.

U místnosti stíněné vertikální překážkou výšky 3 m (varianta 1) se relativní chyba vypočtených hodnot od hodnot referenčních pohybuje v rozmezí -3,07 % (bod G) až 1,93 % (bod C). Pro hodnocenou skupinu bodů A až G kritérium $rMBE$ činí -0,65 % a kritérium $rRMSE$ je 1,83 %. V případě varianty 1 tedy bylo dosaženo vysoké shody vypočtených a referenčních hodnot. V bodech A a B, ve kterých je oblohová složka činitele denní osvětlenosti redukována vertikální překážkou, bylo v programu Daysim pro zvolené simulační parametry dosaženo vysoké shody referenčních a vypočtených hodnot. V bodě A byla v programu Daysim vypočtena totožná

hodnota činitele denní osvětlenosti jako je hodnota referenční. V bodě B je vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti nižší o 1,49 % než hodnota referenční.

V případě vertikální překážky výšky 6 m (varianta 2) byly pro hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené pomocí programu Daysim zjištěny vyšší absolutní hodnoty relativní chyby pro body umístěné v zadní polovině místnosti. Nejvíce se liší vypočtená hodnota od hodnoty referenční v bodě A, ve kterém je vypočtená hodnota o 19,50 % nižší než hodnota referenční. O více než 10 % je vypočtená hodnota nižší než hodnota referenční také v bodě B, kde relativní chyba činí -14,58 %. Již v minulosti bylo přitom publikováno, že **referenční hodnoty uvedené v metodice CIE 171: 2006 pro body A a B jsou chybné** (viz např. [41]; [121] str. 97 – 98; [122] str. 41 – 42; [123] str. 49). Naopak nejméně se vypočtené a referenční hodnoty liší v bodě H, kde je vypočtená hodnota vyšší o 0,20 % než hodnota referenční. S ohledem na chybné referenční hodnoty jsou pouze pro úplnost uvedeny hodnoty kritérií *rMBE* a *rRMSE*, které činí: $rMBE = -4,11 \%$, $rRMSE = 9,39 \%$.

Vertikální překážka výšky 9 m stíní okno místnosti ve variantě 3 hodnocené situace. Z porovnání vypočtených a referenčních hodnot pomocí relativní chyby je patrné, že v bodech A až D byly výpočtem v programu Daysim stanoveny výrazně nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti, než jsou referenční hodnoty. Relativní chyba v těchto bodech se pohybuje od hodnoty -61,25 % (bod A) do -23,58 % (bod D). Přestože je místnost ve variantě 3 více stíněna než ve variantě 2, uvádí metodika CIE 171: 2006 v bodech A až D pro variantu 3 vyšší hodnotu činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16 než pro variantu 2. Je tedy zřejmé, že **referenční hodnoty pro body A až D ve variantě 3 testové situace 5.14 metodika CIE 171: 2006 uvádí chybně**, na což bylo již v minulosti upozorněno například v [41], [121] str. 97 – 98, [122] str. 41 – 42, [123] str. 49. V bodech E až H v přední polovině místnosti je relativní chyba hodnot vypočtených v programu Daysim od hodnot referenčních -0,11 % (bod G) až 5,09 % (bod F). Z důvodu chybných referenčních hodnot v bodech A až D dosahují pro variantu 3 kritéria *rMBE* a *rRMSE* vysokých hodnot ($rMBE = -22,26 \%$, $rRMSE = 33,69 \%$).

V testové situaci 5.14 metodiky CIE 171: 2006 by měly být validovány programy z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti v místnosti stíněné vertikální překážkou. Ve variantách 2 a 3 této testové situace však metodika CIE 171: 2006 uvádí chybné referenční hodnoty pro body A a B u varianty 2 a pro body A až D u varianty 3. Zejména u bodů v zadní polovině místnosti (tj. body A až D) se u variant 2 a 3 projevuje vliv vertikální stínící překážky na redukci oblohové složky činitele denní osvětlenosti, jak je patrné z polohy hranic stínění na obr. 5.3.7. Okrajové podmínky testové situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006 nejsou kompletní, když neobsahují hodnotu činitele odrazu světla od vertikální překážky. Metodika CIE 171: 2006 také neuvažuje se vzájemným stíněním objektů a předpokládá nereálný jednotný jas terénu a stínící překážky. Pro program Daysim, který stanovuje jas povrchů včetně vlivu stínění objekty, tak pro testovou situaci 5.14 metodiky CIE 171: 2006 **lze provést validaci pouze v bodech, v nichž je činitel denní osvětlenosti tvořen pouze oblohou složkou – jedná se tedy o body C až H pro variantu 1 a body G a H pro varianty 2 a 3**. Z uvedených bodů se nevíce liší vypočtená hodnota od hodnoty referenční v bodě G, kde relativní chyba dosahuje hodnoty -3,07 %. **Z hlediska výpočtu oblohové složky činitele denní osvětlenosti v bodech C až H pro variantu 1 a body G a H pro varianty 2 a 3 dosáhl program Daysim vysoké shody vypočtených hodnot s hodnotami referenčními.**

5.3.3 Shrnutí validování programu Daysim dle metodiky CIE 171: 2006

Pro validaci programu Daysim z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 byly použity testové situace 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006. Z provedených světelných simulací, analýzy jednotlivých testových situací a rešerše (např. [42]; [100]; [122]; [123]) vyplynulo, že **validaci programu Daysim lze dle této metodiky provést jen velmi omezeně**. Pro testové situace 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 je v tab. 5.3.17 shrnuto, pro které body lze a pro které nelze v programu Daysim realizovat validaci výpočtu činitele denní osvětlenosti pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16.

Program Daysim bylo možné validovat pro oblohu CIE 16 pomocí testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 pouze pro oblohovou složku činitele denní osvětlenosti a jen v následujících bodech (viz také body vyznačené pomocí + v tab. 5.3.17):

- 1) testová situace 5.9: body A až N u obou testovaných variant osvětlovacích otvorů;
- 2) testová situace 5.11: body E až N pro variantu 1 (osvětlovací otvor velikosti 2 m × 1 m), body G až N pro variantu 2 (osvětlovací otvor velikosti 4 m × 3 m);
- 3) testová situace 5.13: body A až F pro variantu 1;
- 4) testová situace 5.14: body C až H pro variantu 1, body G a H pro varianty 2 a 3.

Validaci výpočtu oblohové složky činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16 lze dále provést i pro testovou situaci 5.13 ve variantě 2 v bodech A až D (viz také body vyznačené pomocí o v tab. 5.3.17), ale jako referenční hodnoty by musely být použity hodnoty pro oblohu CIE 16 v bodech G až J uvedené v metodice CIE 171: 2006 pro variantu 1 testové situace 5.11.

Validaci programu Daysim podle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 je tak z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16 možné provést v 66 bodech z celkových 192, přičemž ve všech těchto bodech je činitel denní osvětlenosti tvořen pouze oblohovou složkou. V grafu na obr. 5.3.8 jsou pro výše uvedených 66 bodů zrekapitulovány relativní chyby vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti od hodnot referenčních pro hodnocené testové situace metodiky CIE 171: 2006. **Absolutní hodnota relativní chyby je nižší než 5 % pro 62 hodnocených bodů (tj. 93,94 %).** O více než 5 % se vypočtené hodnoty od hodnot referenčních liší pouze ve 4 bodech: bod A varianta 1 testové situace 5.9, bod A varianta 2 testové situace 5.9, bod H varianta 1 testové situace 5.11 a bod B varianta 1 testové situace 5.13. Z uvedených bodů jsou dva body umístěny ve vertikální rovině stěny (bod A ve variantě 1 a 2 testové situace 5.9) a zbývající 2 body se nacházejí v horizontální rovině podlahy. Nejvíce se neshoduje vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti s referenční hodnotou v bodě A ve vertikální rovině stěny u varianty 1 testové situace 5.9, kde relativní chyba dosáhla -19,64 %. Ve zbývajících 3 bodech s relativní chybou větší než ±5 % se vypočtené hodnoty liší od referenčních o méně než 10 %. Všechny 4 body, ve kterých relativní chyba překročila ±5 %, se nachází v maximální kolmé vzdálenosti 0,75 m od roviny stropu nebo zadní stěny místnosti. **Z hlediska přesnosti výpočtu činitele denní osvětlenosti v hodnocených bodech pomocí programu Daysim lze tedy shrnout, že pro oblohovou složku činitele denní osvětlenosti bylo pro oblohu CIE 16 dosaženo vysoké shody vypočtených a referenčních hodnot.**

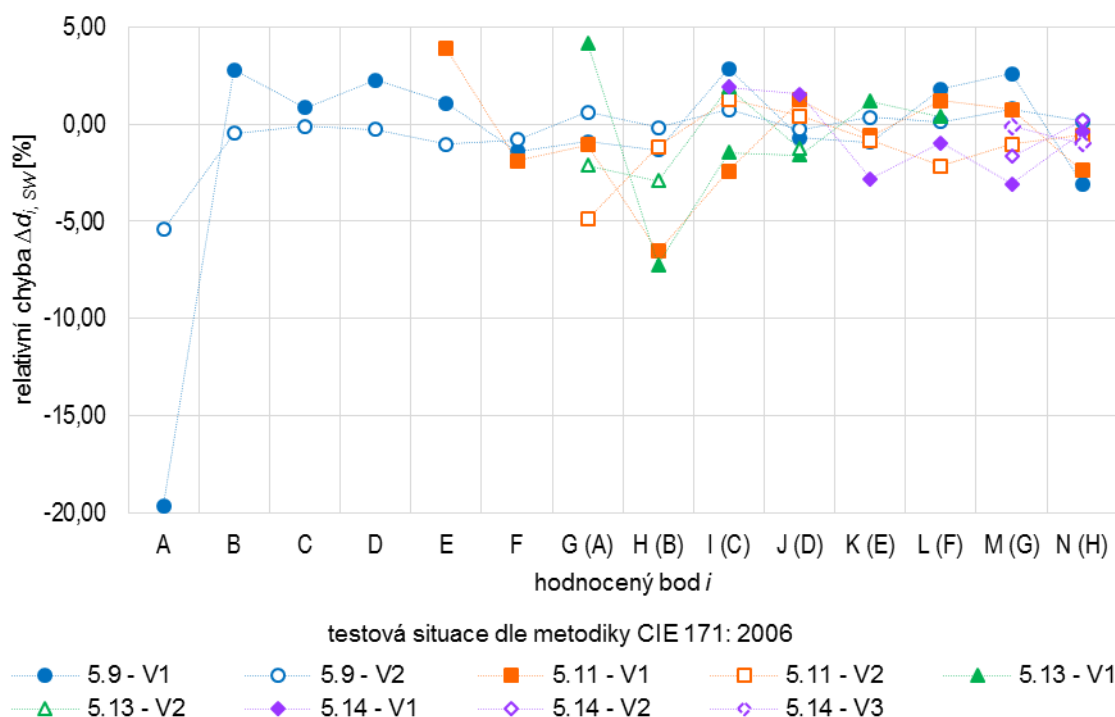
Tab. 5.3.17: Shrnutí proveditelnosti validace programu Daysim dle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16 (autor)

testová situace metodiky CIE 171: 2006	hodnocení bod																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	G'	H'	I'	J'	K'	L'	M'	N'
5.9 – V1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+								
5.9 – V2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+								
5.10 – V1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•								
5.10 – V2	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•								
5.11 – V1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
5.11 – V2	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
5.12 – V1	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-
5.12 – V2	-	-	-	-	-	-	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-	-	-	-	-	-	-
5.13 – V1	+	+	+	+	+	+	-	-														
5.13 – V2	○	○	○	○	-	-	-	-														
5.13 – V3	-	-	-	-	-	-	-	-														
5.14 – V1	-	-	+	+	+	+	+	+														
5.14 – V2	-	-	-	-	-	-	+	+														
5.14 – V3	-	-	-	-	-	-	+	+														

Vysvětlivky:

- + Hodnota činitele denní osvětlenosti v hodnoceném bodě je tvořena pouze oblohovou složkou. **V hodnoceném bodě lze provést validaci programu Daysim podle metodiky CIE 171: 2006 pro oblohu CIE 16.**
- Hodnota činitele denní osvětlenosti v hodnoceném bodě je tvořena pouze oblohovou složkou. Referenční hodnota pro oblohu CIE 16 uvedená v metodice CIE 171: 2006 je chybná, ale referenční hodnotu pro oblohu CIE 16 lze stanovit na základě varianty 1 testové situace 5.11. **V hodnoceném bodě je možné provést validaci programu Daysim podle metodiky CIE 171: 2006 pro oblohu CIE 16, pokud jsou použity správné referenční hodnoty.**
- Hodnota činitele denní osvětlenosti v hodnoceném bodě je tvořena pouze oblohovou složkou. Metodika CIE 171: 2006 však neuvádí, pro jakou hodnotu činitele prostupu světla zasklením je referenční hodnota stanovena. **V hodnoceném bodě nelze provést validaci programu Daysim pro oblohu CIE 16 z důvodu neúplných okrajových podmínek testové úlohy.**
- Hodnota činitele denní osvětlenosti v hodnoceném bodě je z části nebo zcela tvořena vnější odraženou složkou. Metodika CIE 171: 2006 předpokládá u testových situací 5.11 až 5.14 nereálný jednotný jas terénu. V testových situacích 5.13 a 5.14 je metodikou CIE 171: 2006 předpokládán také nereálný jednotný jas stínící překážky. Reálný jas terénu a venkovní překážky v těchto testových situacích nemůže být jednotný z důvodu vzájemného stínění objektů. Program Daysim provádí světelné simulace včetně vlivu vzájemného stínění objektů na jas jejich povrchů. Metodika CIE 171: 2006 pro testové situace 5.13 a 5.14 neuvádí hodnotu činitele odrazu světla od překážky. V testové situaci 5.12 není uvedena světelná propustnost zasklení. **V hodnoceném bodě nelze provést validaci programu Daysim pro oblohu CIE 16 z důvodu předpokladu jednotného jasu venkovních povrchů (testové situace 5.11 až 5.14) a nebo neúplných okrajových podmínek testové úlohy (testové situace 5.12, 5.13 a 5.14).**

V1, V2, V3 varianta 1, 2, 3 testové situace (číslování variant dle značení uvedeného u příslušné testové situace v textu práce výše)



Vysvětlivky:

V1, V2, V3 varianta 1, 2, 3 testové situace (číslování variant dle značení uvedeného u příslušné testové situace v textu práce výše)

A – N hodnocené body pro testové situace 5.9 a 5.11

(A) – (H) hodnocené body pro testové situace 5.13 a 5.14 (body A až H v testových situacích 5.13 a 5.14 metodiky CIE 171: 2006 mají shodnou polohu v rámci hodnocené místnosti jako body G až N v testových situacích 5.9 až 5.12; zvolené umístění bodů A až H pro testové situace 5.13 až 5.14 v grafu umožňuje názornější porovnání relativních chyb pro shodné umístění bodu v rámci místnosti pro různé zastíňovací situace)

Obr. 5.3.8 Rekapitulace relativních chyb pro body, ve kterých lze program Daysim validovat dle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 (autor)

U bodů vyznačených pomocí • a – v tab. 5.3.17 pro testové situace 5.10 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 nelze pro program Daysim provést validaci výpočtu činitele denní osvětlenosti pro oblohu CIE 16 z následujících důvodů:

- 1) Pro testové situace 5.10 a 5.12 metodiky CIE 171: 2006 nejsou v metodice jednoznačně definovány okrajové podmínky, protože metodika neuvádí konkrétní hodnotu světelné propustnosti zasklení.
- 2) V testových situacích 5.11 až 5.14 metodika CIE 171: 2006 předpokládá jednotný jas terénu. V testových situacích 5.13 a 5.14 metodika CIE 171: 2006 kromě jednotného jasu terénu uvažuje také jednotný jas stínících překážek. Metodika CIE 171: 2006 tedy při stanovení jasů terénu a nebo venkovních překážek nezohledňuje vzájemné stínění objektů světelné scény. Program Daysim provádí světelné simulace včetně vlivu vzájemného stínění objektů na jas jejich povrchů.
- 3) Metodika CIE 171: 2006 nedefinuje pro testové situace 5.13 a 5.14 konkrétní hodnotu činitele odrazu světla od venkovní stínící překážky, a proto okrajové podmínky těchto testových situací nejsou úplné.

Závěry týkající se proveditelnosti validace programu Daysim pomocí testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 pro oblohu CIE 16 jsou analogicky použitelné i pro jiné programy, ve kterých se světelná propustnost zasklení nedefinuje tloušťkou skla (testové situace 5.10 a 5.12) nebo ve kterých je jas povrchů stanovován včetně zahrnutí vzájemného stínění objektů světelné scény (testové situace 5.11 až 5.14). V případě testových situací 5.13 a 5.14 metodiky CIE 171: 2006 nejsou kompletní okrajové podmínky z hlediska stanovení vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti, proto lze dle těchto testových situací validovat programy pouze pro body, ve kterých není zastoupena vnější odražená složka.

Podle čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24] by měly být programy pro výpočet denního osvětlení validovány, přičemž se tato norma odkazuje právě na metodiku CIE 171: 2006. Z výše uvedeného textu je však zřejmé, že **pro mnohé dnes používané světelně simulační programy je aplikovatelnost metodiky CIE 171: 2006 velmi omezená z hlediska oblohové i vnější odražené složky**. Ověření výpočtu denního osvětlení odraženého uvnitř místnosti je pak možné pomocí testových situací 5.6 a 5.7 metodiky CIE 171: 2006, ale pouze v případě, že program umožňuje provést výpočet pouze pro přímé sluneční světlo s vyloučením difúzního oblohového světla. **Metodika CIE 171: 2006 neobsahuje testové situace, pomocí kterých by bylo možné validovat výpočet vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze**. Řada referenčních hodnot v metodice CIE 171: 2006 nebyla stanovena analyticky, ale pomocí programu Skylux, který byl validován pomocí analyticky stanovených hodnot pro některé typy obloh.

Bylo by tedy na místě zvážit aktualizaci a opravu stávajících testových situací metodiky CIE 171: 2006 nebo vytvoření zcela nových testových situací. V nových testových situacích by neměly být referenční hodnoty stanoveny simulací v jiném programu, ale experimentálně měření pod umělou oblohou s využitím geometricky a světelně technicky co nejpřesnějšího modelu. **Aktualizované nebo nové testové situace by měly být koncipovány tak, aby podle nich bylo možné validovat dnes používané světelně simulační programy z hlediska výpočtu všech složek činitele denní osvětlenosti**.

5.4 VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA STANOVENÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI POMOCÍ MĚŘENÍ NA MODELU

Pomocí metodiky CIE 171: 2006 [6] bylo možné provést validaci výpočtů v programu Daysim pouze pro oblohovou složku činitele denní osvětlenosti a pouze pro některé z bodů v rámci hodnocených testových situací. Pro ověření přesnosti programu Daysim při výpočtu činitele denní osvětlenosti proto bylo přistoupeno také k měření na modelu a in-situ při přírodní rovnoměrně zatažené obloze splňující kritéria pro měření dle normy ČSN 36 0011-2 [18]. Měření in-situ lze vzhledem k časové náročnosti měření denních osvětleností a těžké předvídatelnosti výskytu rovnoměrně zatažené oblohy získat pouze omezené množství dat. Z tohoto důvodu bylo měření provedeno také na modelu pod přírodní oblohou. I v tomto případě je sice měření omezeno těžkou předvídatelností výskytu rovnoměrně zatažené oblohy, ale v rámci jednoho měřicího dne lze provést měření denních osvětleností pro více variant zastínění místnosti, než je možné u měření in-situ.

5.4.1 Konstrukce modelu

Měření na modelu bylo realizováno v podzimních a zimních měsících na ploché střeše garáže ve Žďáru nad Sázavou. Protože model nebylo možné dlouhodobě ponechat na střeše, byl model zkonstruován v měřítku 1:20 pomocí lehké a rozkladatelné konstrukce tak, aby mohl být instalován na střechu pouze v době měření. Model byl tvořen deskami z plastu a sololitu s využitím dřevěných hranolů, hliníkových a plastových profilů a spojovacích prvků. Konstrukce modelu obsahovala také překryvné prvky, jejichž účelem bylo zamezit vnikání světla do modelu spárami. Vnitřní povrchy modelu byly tvořeny samolepicími fóliemi a vnější povrchy modelu byly opatřeny vyměnitelnými plastovými deskami s nalepenými PVC fóliemi. Jednotlivé části modelu opatřené barevnými fóliemi byly mimo měření skladovány ve světlonepropustném boxu tak, aby byly eliminovány změny světelně technických vlastností.

Denní osvětlenosti bylo na modelu možné měřit v horizontální i vertikální rovině (viz obr. 5.4.1, obr. 5.4.2). Měření v horizontální rovině probíhala pomocí čtyř čidel, jejichž poloha a horizontace byla zajištěna umístěním do boxů uvnitř místnosti modelu. Měření ve vertikální rovině pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany byla provedena pomocí měřicí desky se dvěma vyříznutými kruhovými otvory, do kterých byla vložena čidla pro měření denních osvětleností. Při měření bylo dbáno na to, aby byl model sestaven co nejpřesněji, pomocí libel byla kontrolována vodorovná a svislá poloha jednotlivých částí modelu a laserovým dálkoměrem byly ověřovány rozměry modelu. Model byl vyroben tak, aby místnost modelu bylo možné vyměnit za měřicí desku. Fotografie z měření na modelu jsou na obr. 5.4.1.

Konstrukce modelu umožňovala měnit umístění, vzdálenosti a výšky stínících překážek tak, aby bylo možné provést měření pro různé způsoby zastínění místnosti. Výšku vertikální překážky před oknem místnosti modelu bylo například možné měnit v rozsahu 40 cm až 60 cm, což pro měřítko 1:20 odpovídá výšce 8 m až 12 m. Vertikální překážku bylo možné umístit ve vzdálenosti 15 cm až 60 cm od okna modelové místnosti, což pro zvolené měřítko odpovídá rozsahu 3 m až 12 m.



Pohled do místnosti modelu



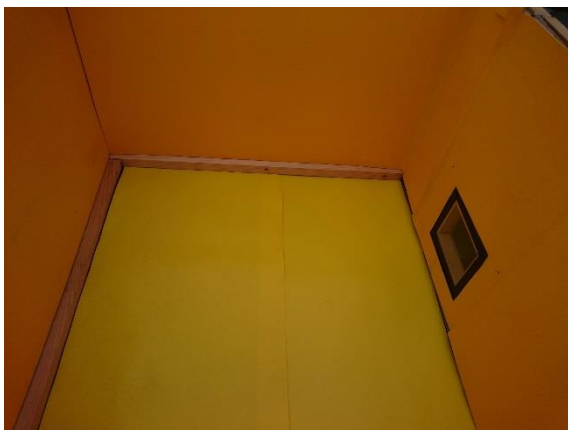
Vertikální překážka výšky 50 cm ve vzdálenosti 60 cm – měření vertikálních osvětleností



Vertikální překážka ve vzdálenosti 35 cm – měření vertikálních osvětleností



Vnitroblok – měření vertikálních osvětleností



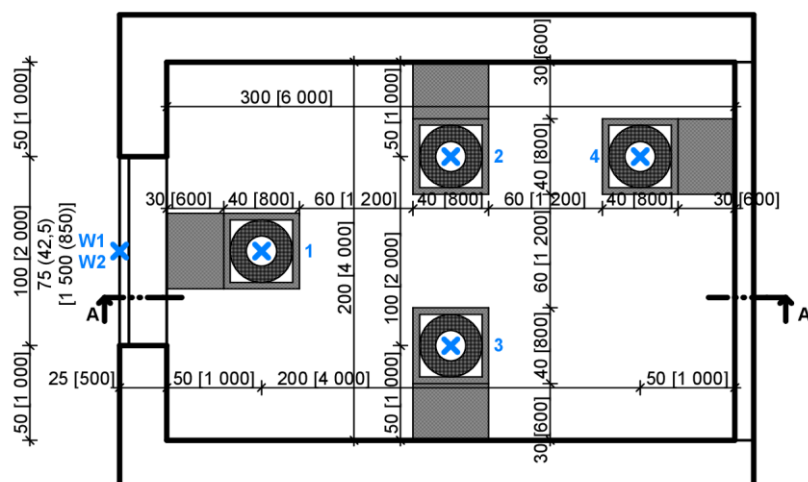
Vnitroblok – měření horizontálních osvětleností



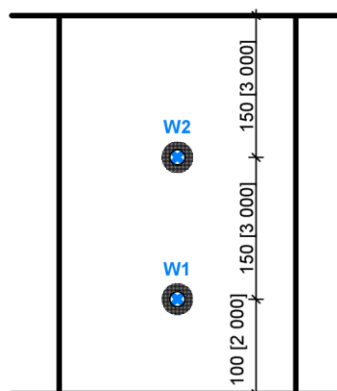
Horizontální překážka – měření horizontálních osvětleností

Obr. 5.4.1 Fotografie z měření na modelu (autor)

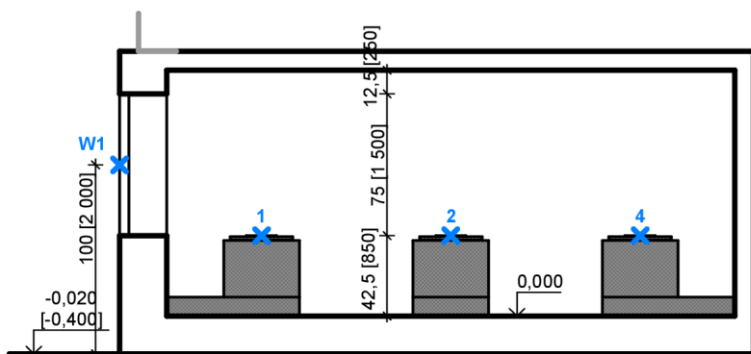
PŮDORYS MÍSTNOSTI MODELU



POHLED NA DESKU PRO MĚŘENÍ VERTIKÁLNÍCH OSVĚTLENOSTÍ



ŘEZ A-A MÍSTNOSTÍ MODELU



✕ BODY PRO STANOVENÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI

KÓTY: SKUTEČNÝ ROZMĚR MODELU [ROZMĚR ODPOVÍDAJÍCÍ MĚŘÍTKU 1:20]

Obr. 5.4.2 Schéma půdorysu a řezu místnosti modelu, schéma pohledu na desku pro měření vertikálních osvětleností (autor)

5.4.2 Stanovení charakteristických způsobů zastínění, parametry stínících překážek

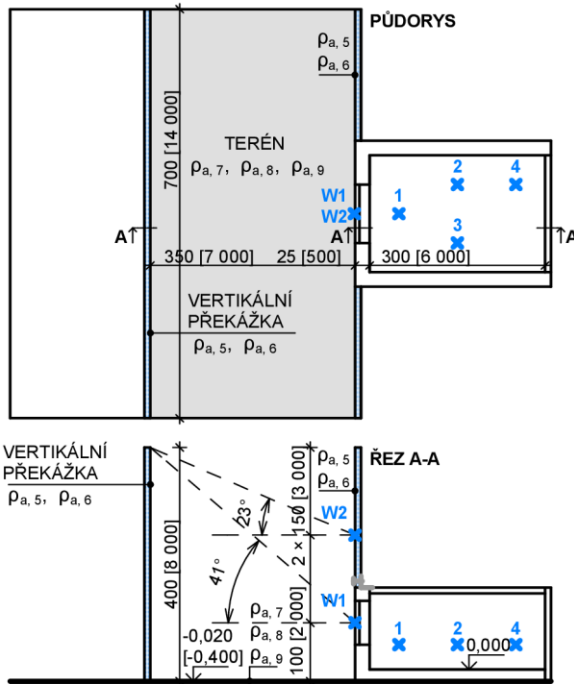
Měření denních osvětleností za účelem stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze je možné provést pouze v době, kdy jsou splněny podmínky uvedené v normě ČSN 360011-2 [18]. V průběhu roku se rovnoměrně zatažená obloha splňující podmínky pro měření obvykle vyskytuje pouze v několika málo dnech. Výskyt rovnoměrně zatažené oblohy je navíc obtížné predikovat. Z těchto důvodů bylo měření na modelu omezeno pouze na následující čtyři způsoby zastínění hodnocených bodů:

- 1) souvislá vertikální překážka výšky 8 m umístěná před oknem ve vzdálenosti 7 m;
- 2) souvislá vertikální překážka výšky 8 m umístěná před oknem ve vzdálenosti 12 m;
- 3) souvislá horizontální překážka s vyložení 2 m umístěná nad oknem ve výšce 2,75 m nad podlahou místnosti;
- 4) čtvercový vnitroblok výšky 8 m s délkou strany 12 m.

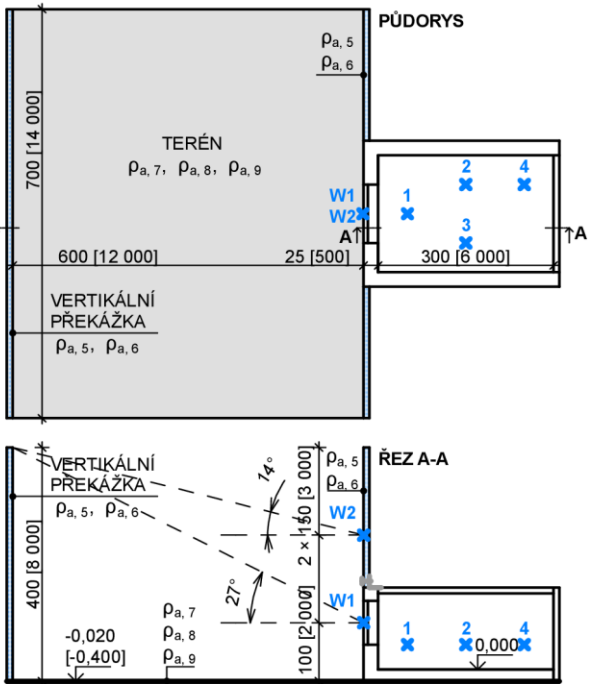
Schéma půdorysu a řezu pro jednotlivé způsoby zastínění je zobrazeno na obr. 5.4.3.

ZPŮSOB ZASTÍNĚNÍ 1:

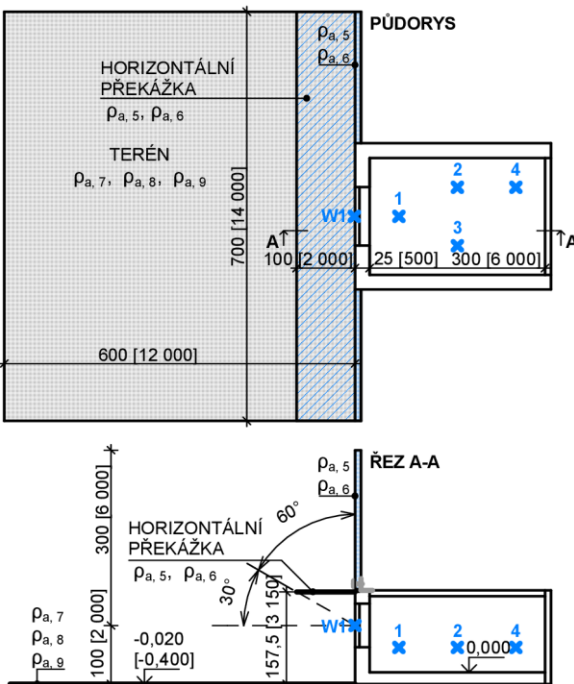
VERTIKÁLNÍ PŘEKÁŽKA VÝŠKY 8 M VE VZDÁLENOSTI 7 M

**ZPŮSOB ZASTÍNĚNÍ 2:**

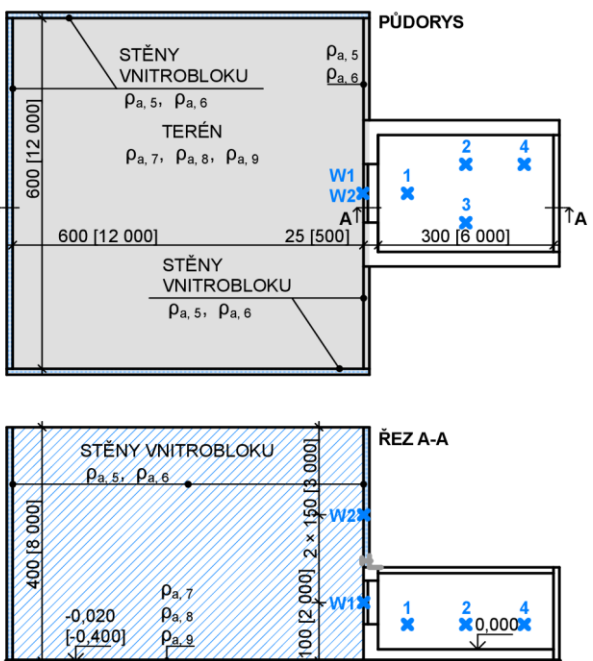
VERTIKÁLNÍ PŘEKÁŽKA VÝŠKY 8 M VE VZDÁLENOSTI 12 M

**ZPŮSOB ZASTÍNĚNÍ 3:**

HORIZONTÁLNÍ PŘEKÁŽKA NAD OKNEM S DÉLKOU VYLOŽENÍ 2 M

**ZPŮSOB ZASTÍNĚNÍ 4:**

ČTVERCOVÝ VNITROBLOK SE STRANOU DÉLKY 12 M A VÝŠKOU 8 M



✕ BODY PRO STANOVĚNÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI

KÓTY: SKUTEČNÝ ROZMĚR MODELU [ROZMĚR ODPOVÍDAJÍCÍ MĚŘÍTKU 1:20]

Obr. 5.4.3 Schéma půdorysu a řezu jednotlivých variant zastínění modelu (autor)

Hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou z hlediska exteriéru kromě umístění stínících překážek ovlivněny také hodnotami činitelů odrazu světla od venkovních povrchů. Venkovní povrchy modelu představující terén a stínící překážky byly opatřeny matnými PVC fóliemi s difúzním povrchem a s výrazně odlišnými hodnotami činitele odrazu světla. Hodnoty činitele odrazu světla těchto fólií uvedené v tab. 5.4.1 byly stanoveny pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-5 ve spolupráci s Ing. Peterem Hartmanem, PhD. ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě (viz příloha 12.2).

Tab. 5.4.1: Hodnoty činitele odrazu světla venkovních povrchů pro validaci pomocí měření na modelu (autor)

popis povrchu			činitel odrazu světla	
g	označení	barva	změřená hodnota $\rho_{a, g}$ [-]	hodnota pro výpočet $\rho_{a, SW, g}$ [-]
venkovní povrchy modelu¹⁾				
5	tmavé venkovní překážky A)	modrá	0,1900 ± 0,0002	0,19
6	světlé venkovní překážky B)	žlutá	0,5834 ± 0,0006	0,58
7	terén a)	hnědá	0,1019 ± 0,0001	0,10
8	terén b)	šedá	0,2532 ± 0,0002	0,25
9	terén c)	světle žlutá	0,7001 ± 0,0008	0,70
Vysvětlivky				
1) Hodnota činitele odrazu světla stanovená pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-5 - viz příloha 12.2.				

Venkovní překážky byly opatřeny odnímatelnými plastovými deskami s nalepenými PVC fóliemi ve dvou barevných provedeních (modrá a žlutá fólie). Modrá překážka s průměrným činitelem odrazu světla 0,19 tak simulovala zastínění tmavou fasádou. Žlutá překážka s průměrnou reflektancí 0,58 představovala zastínění velmi světlou fasádou s minimálním podílem zasklení nebo jiných ploch s nízkou hodnotou činitele odrazu světla. Před oknem místnosti modelu byla dále měněna odraznost terénu mezi hodnocenou místností a stínící překážkou prostřednictvím výměny hnědé, šedé a světle žluté PVC fólie. Hnědá PVC fólie byla pro terén zvolena tak, aby se hodnota činitele odrazu světla co nejvíce blížila hodnotě činitele odrazu světla 0,10 pro tmavý terén (např. tráva, asfalt) dle čl. A.20 a tab. A.4 normy ČSN 73 0580-1 [7]. Šedá PVC fólie použitá pro terén svým průměrným činitelem odrazu světla 0,25 zhruba odpovídá hodnotě pro betonovou dlažbu dle tab. A.4 v normě ČSN 73 0580-1 [7]. Světle žlutá fólie pro terén mezi překážkami s průměrným činitelem odrazu světla 0,70 by mohla představovat velmi světlou venkovní dlažbu s minimálním znečištěním, ale jedná se spíše o teoretickou variantu, jejímž účelem je vyhodnotit shodu referenčních a vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti při vyšší hodnotě činitele odrazu světla od terénu.

U každého způsobu zastínění tak byla provedena měření pro dvě varianty činitelů odrazu světla od venkovních překážek a tři varianty činitelů odrazu světla terénu mezi hodnocenou místností a překážkou. **Celkově bylo pro každý způsob zastínění uvažováno s šesti kombinacemi činitelů odrazu světla od venkovních povrchů (tj. šest variant zastínění).** Značení jednotlivých měřených variant zastínění je uvedeno v tab. 5.4.2. Ve variantách 1Bc, 2Bc, 3Bc a 4Bc je použita kombinace povrchů světlá překážka s průměrným činitelem odrazu světla 0,58 a velmi světlý terén s průměrným činitelem odrazu světla 0,70. S ohledem na použité hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních povrchů jsou tedy varianty zastínění 1Bc, 2Bc, 3Bc a 4Bc spíše teoretické a byly navrženy pro ověření vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti při vyšších hodnotách činitele odrazu světla venkovních povrchů. **Měřením na modelu tak bylo**

možné ověřit shodu hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených měření a světelnými simulacemi pro různé způsoby zastínění a různé hodnoty činitele odrazu světla venkovních povrchů.

Tab. 5.4.2: Přehled variant zastínění pro validaci pomocí měření na modelu (autor)

způsob zastínění	venkovní překážky	označení varianty zastínění		
		terén		
		a) $\rho_{a, SW, 7}$ 0,10	b) $\rho_{a, SW, 8}$ 0,25	1) $\rho_{a, SW, 9}$ 0,70
1) vertikální překážka výšky 8 m před oknem ve vzdálenosti 7 m dle obr. 5.4.3	A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$	1Aa	1Ab	1Ac
	B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$	1Ba	1Bb	1Bc
2) vertikální překážka výšky 8 m před oknem ve vzdálenosti 12 m dle obr. 5.4.3	A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$	2Aa	2Ab	2Ac
	B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$	2Ba	2Bb	2Bc
3) horizontální překážka s vyložení délky 2 m umístěná nad oknem ve výšce 2,75 m nad podlahou místnosti dle obr. 5.4.3	A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$	3Aa	3Ab	3Ac
	B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$	3Ba	3Bb	3Bc
4) čtvercový vnitroblok výšky 8 m s délkou strany 12 m dle obr. 5.4.3	A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$	4Aa	4Ab	4Ac
	B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$	4Ba	4Bb	4Bc

5.4.3 Místnost pro stanovení osvětleností uvnitř modelu

Na základě kapitoly 4.3 byla pro měření na modelu navržena **místnost (viz obr. 5.4.2) obdélníkového půdorysu o rozměrech 20 cm × 30 cm se světlou výškou 13 cm (to odpovídá pro měřítko 1:20 místnosti 4 m × 6 m se světlou výškou 2,6 m)**. Osvětlovací otvor místnosti měl rozměry 10 cm × 7,5 cm a tloušťku ostění 2,5 cm, což ve zvoleném měřítku představuje otvor rozměrů 2 m × 1,5 m s ostěním 0,5 m. Osvětlovací otvor místnosti modelu byl vyplněn jednoduchým čířým sklem. Světelná propustnost zasklení byla změřena přístrojem Pocket Detective 2.1 (viz příloha 12.3) a pro jednotlivé měřicí dny je uvedena v tab. 5.4.3

Tab. 5.4.3: Hodnoty činitele prostupu světla zasklením místnosti modelu (autor)

datum měření	činitel prostupu světla	
	změřená hodnota $\tau_{s,z}$ [-]	hodnota pro výpočet $\tau_{s,z, SW}$ [-]
28. 2. 2016	0,883 ± 0,003	0,88
4. 11. 2017	0,880 ± 0,001	0,88

Světlo nepropustné povrchy místnosti modelu byly opatřeny samolepicími matnými fóliemi s difúzním povrchem, jejichž hodnoty činitele odrazu světla byly stanoveny pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-5 ve spolupráci s Ing. Peterem Hartmanem, PhD. ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě (viz příloha 12.2). Hodnoty činitele odrazu světla pro jednotlivé povrchy modelu jsou uvedeny v tab. 5.4.4. Samolepicí fólie pro vnitřní povrchy modelu byly vybrány tak, aby se jejich hodnoty činitele odrazu světla co nejvíce blížily hodnotám uvedeným pro podlahu, strop a stěny v čl. 4.6.3 normy ČSN 73 0580-1 [7]. S ohledem na rozměry modelu představovala čidla pro měření denních osvětleností nezanedbatelnou vnitřní překážku, jejíž hodnoty činitelů odrazu světla uvedené v tab. 5.4.4 byly stanoveny odborným odhadem.

Tab. 5.4.4: Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních povrchů modelu (autor)

popis povrchu			činitel odrazu světla	
g	označení	barva	změřená hodnota $\rho_{a, g} [-]$	hodnota pro výpočet $\rho_{a, SW, g} [-]$
vnitřní povrchy modelu¹⁾				
1	podlaha	modrá	0,3137 ± 0,0002	0,31
2	strop, okenní stěna	žlutá	0,6949 ± 0,0006	0,69
3	boční stěny, zadní stěna	hnědá	0,4885 ± 0,0002	0,49
4	boxy na čidla	šedá	0,0467 ± 0,0001	0,05
čidla pro měření denních osvětleností²⁾				
10	fotonka	bílá	-	0,80
11	černý hliníkový kryt	černá	-	0,05
Vysvětlivky				
1) Hodnota činitele odrazu světla stanovená pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-5 - viz příloha 12.2.				
2) Hodnota činitele odrazu světla stanovená odborným odhadem.				

Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly pro všechny varianty zastínění dle tab. 5.4.2 zjišťovány v horizontální rovině pro body 1 – 4 uvnitř modelu (viz obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3). Body 1 – 4 se nacházely ve vzdálenosti 50 mm od vnitřních povrchů místnosti modelu, což v měřítku 1:20 představuje vzdálenost 1 m. Výškové a půdorysné umístění hodnocených bodů vycházelo z požadavků popsanych v čl. 4.1.11 normy ČSN 73 0580-1 [7], která platila v době měření. Pro vzdálenost 1 m od vnitřních povrchů stěn tedy při symetrickém zastínění bylo možné stanovit v bodě 1 maximální hodnotu činitele denní osvětlenosti a v bodě 4 minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti v místnosti. Poloha bodů 2 a 3 koresponduje s umístěním kontrolních bodů pro vyhodnocení denního osvětlení v obytné místnosti s bočním denním osvětlením dle požadavků normy ČSN 73 0580-2 [10].

Ve vertikální rovině byly hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovovány v bodech, jejichž umístění odpovídalo při měřítku 1:20 výšce 2 m nad terénem (bod W1) a 5 m nad terénem (bod W2). Výškové umístění bodu W1 souhlasilo s minimální výškou bodu nad terénem pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany dle čl. B.2 normy 73 0580-1 [7]. U zastínění horizontální překážkou nad oknem (tj. varianty zastínění 3Aa až 3Bc dle tab. 5.4.2) byla stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti pouze pro bod W1.

5.4.4 Měření jasů oblohy a denních osvětleností pro stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze

Pro každou variantu zastínění byla provedena dvě platná měření denních osvětleností, pro které byly následně stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti. Měření na modelu byla pro jednotlivé varianty zastínění uskutečněna:

- 28. 2. 2016: měření horizontálních denních osvětleností v bodech 1 až 4 pro všechny varianty způsobů zastínění 1 až 3;
- 4. 11. 2016: měření horizontálních denních osvětleností v bodech 1 až 4 a vertikálních denních osvětleností v bodech W1 a W2 pro všechny varianty způsobů zastínění 4;
- 18. 11. 2017: měření vertikálních denních osvětleností v bodech W1 a W2 pro všechny varianty způsobů zastínění 1 až 3.

5.4.4.1 Přístroje použité pro měření jasů oblohy a denních osvětleností

Pro měření jasů oblohy a denních osvětleností byly použity přístroje, které byly v době zpracování dizertační práce dostupné na Ústavu pozemního stavitelství Vysokého učení technického v Brně. Jasy oblohy byly stanoveny pomocí bodového jasoměru Gossen Mavo-Spot 2 (výrobní číslo: 5B40989). Osvětlenosti v bodech 1 až 4, W1 a W2 byly měřeny pomocí čidel Ahlborn FLA 623 VL dle tab. 5.4.5 zapojených do dataloggeru Ahlborn Almemo 2590-4S (výrobní číslo: H10100878). Osvětlenost horizontální nezastíněné roviny v exteriéru byla měřena pomocí jednoho čidla Ahlborn FLA 623 VL společně s dataloggerem Ahlborn Almemo 2590-4S (výrobní číslo: H10100879). Technické parametry použitých měřících přístrojů jsou uvedeny v příloze 12.1.

Tab. 5.4.5: Přehled čidel použitých pro měření denních osvětleností na modelu (autor)

výrobní číslo čidla Ahlborn FLA 623 VL	použití čidla
13050699	měření denních osvětleností v bodě 1
13050698	měření denních osvětleností v bodech 2, W1
13050697	měření denních osvětleností v bodech 3, W2
13050696	měření denních osvětleností v bodě 4
14101287	měření denních osvětleností vodorovné roviny v exteriéru

5.4.4.2 Měření jasů oblohy

Před zahájením měření a v průběhu měření osvětleností při rovnoměrně zatažené obloze za účelem stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti je nutné průběžně měřit jas oblohy pro ověření, že obloha splňuje kritéria pro měření ve smyslu části 4.6.2 normy ČSN 36 0011-2 [18]. Protože měření na modelu byla provedena pro prostor s osvětlovacím otvorem v jedné stěně, byly jasy oblohy stanovovány pouze pro polorovinu oblohy ovlivňující denní osvětlení měřeného vnitřního prostoru. Jasy oblohy byly změřeny ve 3 rovinách, z nichž jedna byla kolmá k osvětlovacímu otvoru. S ohledem na podmínky měření denního osvětlení při rovnoměrně zatažené obloze, které jsou uvedeny v normě ČSN 36 0011-2 [18], byla stanovena následující kritéria platnosti měření jasů pro rovnoměrně zataženou oblohu při tmavém terénu pro stanovení činitele denní osvětlenosti (dále jen „kritéria platnosti měření jasů“):

- 1. kritérium platnosti měření jasů pro elevační úhel $\gamma = 15^\circ$:

$$0,30 \leq \frac{L_{15,i}}{L_{90}} \leq 0,60 \quad (5.4.1)$$

- $L_{15,i}$ [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas oblohy v elevačním úhlu $\gamma = 15^\circ$ pro rovinu i ;
- L_{90} [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas oblohy v zenitu;
- 2. kritérium platnosti měření jasů pro elevační úhel $\gamma = 45^\circ$:

$$0,70 \leq \frac{L_{45,i}}{L_{90}} \leq 0,85 \quad (5.4.2)$$

- $L_{45,i}$ [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas oblohy v elevačním úhlu $\gamma = 45^\circ$ pro rovinu i ;

- 3. kritérium platnosti měření jasů: relativní odchylka naměřené hodnoty jasů od průměrné hodnoty jasů pro elevační úhel γ :

$$\Delta L_{\gamma, p} = \frac{|L_{\gamma, i} - L_{\gamma, p}|}{L_{\gamma, p}} \cdot 100 \% \leq 10 \% \quad (5.4.3)$$

$$L_{\gamma, p} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{\gamma, i}}{n} \quad (5.4.4)$$

- $L_{p, \gamma}$ [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – průměrný jas oblohy v elevačním úhlu γ stanovený z jasů oblohy změřených ve všech hodnocených rovinách i ;
- $\Delta L_{\gamma, p}$ [%] – relativní odchylka naměřené hodnoty jasů v rovině i v elevačním úhlu γ od průměrného jasů oblohy $L_{p, \gamma}$ v elevačním úhlu γ ;

Všechna kritéria platnosti měření jasů musí být splněna současně.

5.4.4.3 Měření osvětleností pro stanovení činitele denní osvětlenosti

Čidla Ahlborn FLA 623 VL pro měření horizontálních osvětleností uvnitř místnosti modelu byla umístěna do boxů (viz obr. 5.4.1, obr. 5.4.2) tak, aby se fotonka nacházela ve výšce 42,5 mm, což odpovídá při měřítku 1:20 výšce 850 mm nad podlahou. Čidla pro měření vertikální osvětlenosti byla fixována v otvorech v desce pro vertikální měření. Poloha středu čidel při měření osvětleností odpovídala umístění hodnocených bodů 1 až 4, W1 a W2. Čidlo pro měření denní osvětlenosti venkovní horizontální nezastíněné roviny bylo umístěno na výškově nastavitelný stativ s trubicovou a krabicovou libelou tak, aby byla zajištěna horizontální poloha fotonky čidla. Horizontální poloha čidla pro měření horizontální osvětlenosti v exteriéru byla kontrolována v průběhu trvání měření. Čidlo pro měření denní osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny bylo umístěno tak, aby v průběhu měření nebylo stíněno.

Před zahájením měření osvětleností bylo autorkou dizertační práce ověřeno splnění kritérií platnosti měření jasů na základě změřených jasů bodovým jasoměrem (viz harmonogramy měření v příloze 12.5.1). V průběhu měření byl jasoměr připevněn na stativ s trubicovou a krabicovou libelou, jejichž urovnáním byla zajištěna horizontace přístroje. Otáčivá hlava stativu byla pro účely měření jasů oblohy opatřena ryskami, které vymezily nastavení sklonu otáčivé hlavy stativu pro měření jasů v elevačních úhlech 15°, 45° a 90°. Pokud kritéria platnosti měření jasů nebyla splněna před zahájením měření denních osvětleností, bylo měření jasů opakováno a měření denních osvětleností začala až při splnění všech kritérií platnosti měření jasů. V průběhu měření denních osvětleností bylo autorkou dizertační práce splnění kritérií platnosti měření jasů průběžně ověřováno. Měření denních osvětleností tak bylo rozděleno do několika částí. Jednotlivá část měření denních osvětleností byla považována za platnou pouze v případě, že denní osvětlenosti byly změřeny mezi dvěma měřeními jasů, u kterých byla splněna všechna kritéria platnosti měření jasů. Pokud nebyla kritéria platnosti měření jasů splněna po ukončení měření denních osvětleností pro danou část měření, nebyly výsledky měření denních osvětleností pro danou část měření považovány za platné. Měření denních osvětleností se pro danou část měření v takovém případě opakovala ve chvíli, kdy byla splněna všechna kritéria

platnosti měření jasů. V průběhu měření denních osvětleností byla kontrolována rovnoměrnost zatažení oblohy také vizuálně.

Pro stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze měřením je nutné simultánně stanovit osvětlenost E_i v hodnoceném bodě a osvětlenost E_H venkovní horizontální nezastíněné roviny. Při vhodném umístění stativu s čidlem pro měření venkovní horizontální osvětlenosti bylo při měření na modelu možné současný odečet osvětleností provést jednou osobou. Měření však byla prováděna za účasti minimálně dvou osob z důvodu zkrácení času nutného na přestavění modelu pro jinou variantu zastínění. Měření a odečet změřených hodnot jasů a osvětleností byl zajištěn autorkou dizertační práce. Přestavba modelu byla prováděna autorkou dizertační práce a spolupracovníky.

Hodnoty jasů oblohy a denních osvětleností, které byly změřeny v průběhu jednotlivých měřicích dnů, jsou uvedeny v příloze 12.5.1. V této příloze je také vyhodnocena platnost měření na základě metodiky popsané v kapitole 5.4.4.2. Pro všechny varianty zastínění byla provedena dvě platná měření na modelu. Pokud na základě splnění kritérií platnosti měření jasů bylo měření osvětleností vyhodnoceno jako platné, byly ze změřených osvětleností stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti D_i pomocí vzorce (2.5.1).

5.4.5 Výpočet hodnot činitele denní osvětlenosti v programu Daysim

Pomocí světelných simulací v programu Daysim byly v hodnocených bodech modelu pro všechny varianty zastínění (viz obr. 5.4.2, obr. 5.4.3 a tab. 5.4.2) stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti také výpočtem pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16. Výpočet v programu Daysim byl proveden pro simulační parametry dle tab. 5.1.1. Vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

Světelně technické parametry povrchů pro simulace denního osvětlení byly uvažovány dle tab. 5.4.1, tab. 5.4.3 a tab. 5.4.4, přičemž světlonepropustné povrchy jsou považovány za difúzní. Pro simulace v programu Daysim je dále nutné povrchy modelu zadat jako spektrálně neutrální ([107] str. 48). Terén mimo oblast modelu byl pro světelné simulace v programu Daysim uvažován s činitelem odrazu světla 0,1 (tj. např. tráva, asfalt dle čl. A.20 a tab. A.4 v normě ČSN 73 0580-1 [7]). Jednotlivé způsoby zastínění byly vymodelovány v programu SketchUp [140] (viz obr. 5.4.4 až obr. 5.4.7) a export geometrie do programu Daysim byl proveden pomocí doplňku programu SU2DS [142].

5.4.6 Referenční a porovnávané hodnoty činitele denní osvětlenosti

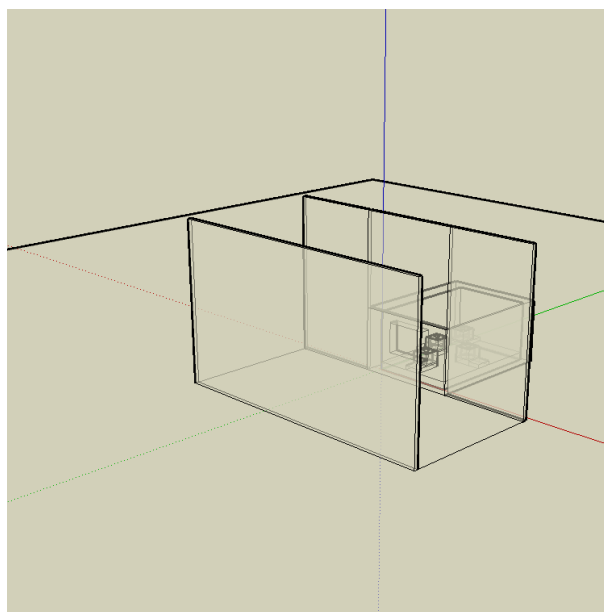
V každém platném měření byly na základě vzorce (2.5.1) stanoveny čtyři referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině a maximálně dvě referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině. Tyto referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou pro jednotlivé varianty zastínění uvedeny v tabulkách v kapitole 5.4.7. V těchto tabulkách jsou uvedeny i hodnoty činitele denní osvětlenosti, které byly stanoveny výpočtem v programu Daysim.

5.4.7 Porovnání a vyhodnocení výpočtem stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti s referenčními hodnotami zjištěnými pomocí měření na modelu

Kritéria (popis hodnotících kritérií viz kapitola 5.2) pro vyhodnocení diferencí vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti s referenčními hodnotami zjištěnými pomocí měření jsou vyčíslena v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13. V těchto tabulkách je pro body 1 až 4 červeně vyznačena nejvyšší absolutní hodnota a modře nejnižší absolutní hodnota hodnotících kritérií: rozdíl $\Delta D_{i, sw, j}$ a relativní chyba $\Delta d_{i, sw, j}$. Hodnotící kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ jsou stanovena samostatně pro horizontální a vertikální rovinu, přičemž jsou tato kritéria určena vždy na základě obou provedených měření.

5.4.7.1 Způsob zastínění 1: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m

Zastínění hodnocených bodů vertikální překázkou dlouhou 14 m a vysokou 8 m ve vzdálenosti 7 m od místnosti odpovídá pro bod W1 úhlu stínění 41° a pro bod W2 úhlu stínění 23° (viz obr. 5.4.3). Vzdálenost 7 m byla zvolena, neboť se jedná o minimální odstupovou vzdálenost mezi rodinnými domy dle § 25 odst. 2 vyhlášky č. 501/2006 Sb. [36]. Model hodnocené zastíňovací situace pro výpočet v programu Daysim je zobrazen na obr. 5.4.4. Hodnoty činitele denní osvětlenosti a hodnotících kritérií jsou uvedeny pro varianty zastínění 1Aa až 1Ac v tab. 5.4.6 a pro varianty zastínění 1Ba až 1Bc v tab. 5.4.7.



Obr. 5.4.4 Zastínění místnosti vertikální překázkou výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m (varianty zastínění 1Aa až 1Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)

Tab. 5.4.6: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 1Aa až 1Ac (autor)

Varianta zastínění 1Aa: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$								
datum měření 1, 2			28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	3,42	0,34	0,34	0,13	26,27	37,50
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	3,51	0,35	0,33	0,14	27,05	37,96
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	3,07	0,36	0,36	0,15	26,58	35,11
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,35	0,02	0,02	0,02	0,31	-2,39
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-10,23	5,88	5,88	15,38	1,18	-6,37
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,44	0,01	0,03	0,01	-0,47	-2,85
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-12,54	2,86	9,09	7,14	-1,74	-7,51
	rMBE	[%]	2,93				-3,61	
	rRMSE	[%]	9,42				5,03	
Varianta zastínění 1Ab: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, a5} = 0,19$; terén a) $\rho_{a, SW, a8} = 0,25$								
datum měření 1, 2			28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	3,71	0,41	0,42	0,16	29,44	38,51
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	3,82	0,45	0,42	0,17	30,16	39,73
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	3,33	0,44	0,44	0,18	29,33	36,38
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,38	0,03	0,02	0,02	-0,11	-2,13
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-10,24	7,32	4,76	12,50	-0,37	-5,53
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,49	-0,01	0,02	0,01	-0,83	-3,35
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-12,83	-2,22	4,76	5,88	-2,75	-8,43
	rMBE	[%]	1,24				-4,27	
	rRMSE	[%]	8,40				5,23	
Varianta zastínění 1Ac: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén a) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$								
datum měření 1, 2			28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	4,73	0,64	0,64	0,24	38,02	42,23
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	4,82	0,66	0,65	0,28	39,33	43,47
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	4,16	0,69	0,70	0,27	38,04	41,27
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,57	0,05	0,06	0,03	0,02	-0,96
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-12,05	7,81	9,37	12,50	0,05	-2,27
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,66	0,03	0,05	-0,01	-1,29	-2,20
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-13,69	4,55	7,69	-3,57	-3,28	-5,06
	rMBE	[%]	1,58				-2,64	
	rRMSE	[%]	9,55				3,22	
Poznámka:								
Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu.								
Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.								

Tab. 5.4.7: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 1Ba až 1Bc (autor)

Varianta zastínění 1Ba: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	4,90	0,60	0,59	0,27	33,09	43,03
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	4,75	0,61	0,61	0,27	33,86	42,78
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	4,23	0,64	0,65	0,29	32,71	41,48
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,67	0,04	0,06	0,02	-0,38	-1,55
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-13,67	6,67	10,17	7,41	-1,15	-3,60
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,52	0,03	0,04	0,02	-1,15	-1,30
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-10,95	4,92	6,56	7,41	-3,40	-3,04
	rMBE	[%]	2,32				-2,80	
	rRMSE	[%]	8,89				2,96	
Varianta zastínění 1Bb: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	5,34	0,72	0,70	0,32	36,81	44,80
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	5,24	0,73	0,74	0,34	37,39	43,73
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	4,61	0,77	0,77	0,35	36,35	43,59
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,73	0,05	0,07	0,03	-0,46	-1,21
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-13,67	6,94	10,00	9,37	-1,25	-2,70
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,63	0,04	0,03	0,01	-1,04	-0,14
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-12,02	5,48	4,05	2,94	-2,78	-0,32
	rMBE	[%]	1,64				-1,76	
	rRMSE	[%]	8,82				2,04	
Varianta zastínění 1Bc: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	6,48	1,09	1,11	0,46	48,04	51,97
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	6,58	1,09	1,09	0,47	49,29	50,84
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	5,78	1,15	1,15	0,51	48,50	50,68
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,70	0,06	0,04	0,05	0,46	-1,29
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-10,80	5,50	3,60	10,87	0,96	-2,48
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,80	0,06	0,06	0,04	-0,79	-0,16
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-12,16	5,50	5,50	8,51	-1,60	-0,31
	rMBE	[%]	2,07				-0,86	
	rRMSE	[%]	8,36				1,56	
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu. Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.								

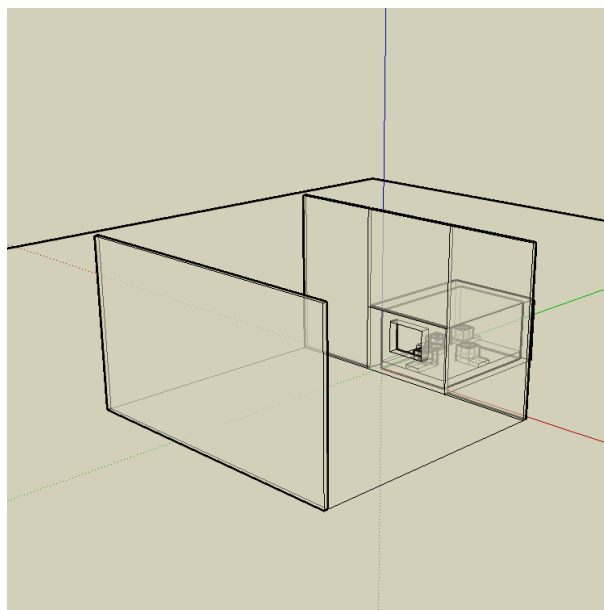
V horizontální rovině (body 1 až 4) je pro obě provedená měření nejmenší shoda mezi změřenými a vypočtenými hodnotami v bodě 1, přičemž naměřené hodnoty jsou vyšší než hodnoty vypočtené o 10,23 % (varianta 1Aa – měření 1) až 13,69 % (varianta 1Ac – měření 2). Body 2 a 3 jsou umístěny ve stejné hloubce měřené místnosti a při souměrném zastínění venkovní překážkou by v nich měla být stanovena shodná hodnota činitele denní osvětlenosti. V bodech 2 a 3 byla zjištěna relativní chyba $\Delta d_{i, SW}$ v rozmezí hodnot -2,22 % (varianta 1Ab – bod 2 – měření 2) až 10,17 % (varianta 1Ba – bod 3 – měření 1). Relativní chyba hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu Daysim od referenční hodnoty se pro bod 4 pohybuje v rozmezí -3,57 % (varianta 1Ac – měření 2) až 15,38 % (varianta 1Aa – měření 1). Na rozdíl od bodu 1 je většina změřených hodnot činitele denní osvětlenosti v bodech 2 až 4 mírně nižší než hodnota vypočtená v programu Daysim. Pro hodnocené varianty 1Aa až 1Bc se pro body 1 až 4 hodnota kritéria $rMBE$ pohybuje v rozmezí 1,24 % (varianta 1Ab) až 2,93 % (varianta 1Aa) a hodnota kritéria $rRMSE$ dosahuje hodnot 8,36 % (varianta 1Bc) až 9,55 % (varianta 1Ac).

Ve vertikální rovině (body W1 a W2) se nejvíce liší vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti od referenční hodnoty v měření 2 varianty 1Ab pro bod W2, kde je vypočtená hodnota nižší o 8,43 % než referenční hodnota. Nejméně se naopak liší vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti od referenční hodnoty v bodě W1 pro měření 1 u varianty 1Ac, kde je vypočtená hodnota pouze o 0,05 % vyšší než hodnota stanovená měřením 1. Z hlediska vyhodnocení skupiny bodů byla pro body ve vertikální rovině zjištěna nejvyšší shoda vypočtených a naměřených hodnot pomocí kritéria $rMBE$ i $rRMSE$ pro variantu 1Bc ($rMBE = -0,86 \%$, $rRMSE = 1,56 \%$). Naopak nejmenší shoda vypočtených a naměřených hodnot je dle kritéria $rMBE$ i $rRMSE$ pro variantu 1Ab, kde $rMBE = -4,27 \%$ a $rRMSE = 5,23 \%$.

U zastínění hodnocené místnosti vertikální překážkou výšky 7 m bylo pro hodnocené kombinace činitelů odrazu světla od vertikální překážky a terénu dosaženo dle kritéria $rRMSE$ vyšší shody výsledků změřených a vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině než v rovině horizontální. Kritérium $rRMSE$ dosahuje pro body ve vertikální rovině maximální hodnoty 5,23 % (varianta 1Ab), zatímco v horizontální rovině je maximální hodnota kritéria $rRMSE$ rovna hodnotě 9,55 % (varianta 1Ac).

5.4.7.2 Způsob zastínění 2: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m

Ve druhé variantě zastínění se ve vzdálenosti 12 m od hodnocené místnosti nachází vertikální překážka výšky 8 m a délky 14 m. Při tomto umístění překážky je bod W1 zastíněn pod úhlem 27° a bod W2 pod úhlem 14° (viz obr. 5.4.3). Vzdálenost 12 m představuje dle § 22 vyhlášky č. 501/2006 Sb. [36] minimální šířku veřejného prostranství, jehož součástí je komunikace zpřístupňující pozemek bytového domu. Model hodnocené situace, který byl použit pro výpočet v programu Daysim, je zobrazen na obr. 5.4.5. Pro hodnocené varianty zastínění jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti a hodnotících kritérií uvedeny v tab. 5.4.8 (varianty 2Aa – 2Ac) a v tab. 5.4.9 (varianty 2Ba – 2Bc).



Obr. 5.4.5 Zastínění místnosti vertikální překážkou výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m (varianty zastínění 2Aa až 2Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)

Obdobně jako u předcházejícího způsobu zastínění vertikální překážkou se v horizontální rovině nejvíce liší hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem od hodnot v bodě 1, kde byly vypočteny hodnoty činitele denní osvětlenosti nižší o 9,38 % (varianta 2Bb – měření 1) až o 14,51 % (varianta 2Bc – měření 2) v porovnání s hodnotami stanovenými na základě měření. V bodech 2 a 3 jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem nižší, shodné i vyšší než hodnoty stanovené měřením. V případě bodů 2 a 3 se relativní chyba hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených výpočtem od hodnot určených měřením pohybuje v rozmezí -10,34 % (varianta 2Aa – bod 3 – měření 2) až 4,95 % (varianta 2Ac – bod 3 – měření 1). U bodu 4 bylo dosaženo shody vypočtené a změřené hodnoty u měření 1 i 2 ve variantách 2Aa, 2Ab a u měření 1 také ve variantě 2Ba. V bodě 4 se nejvíce liší vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti od změřené hodnoty v případě varianty 2Bb, kde byla výpočtem stanovena o 10,53 % vyšší hodnota činitele denní osvětlenosti oproti hodnotě stanovené v měření 2. V případě měření 1 pro variantu 2Bb se však vypočtená hodnota v bodě 4 liší od hodnoty změřené pouze o 2,44 %. Z hlediska porovnání vypočtených a změřených hodnot pomocí kritéria $rMBE$ jsou v horizontální rovině výpočtem stanovené hodnoty průměrně nižší než hodnoty stanovené měřením o 2,90 % (varianta 2Ac) až 6,16 % (varianta 2Aa). Kritérium $rRMSE$ dosáhlo nejnižší hodnoty 6,82 % pro variantu 2Ac a naopak nejvyšší hodnoty 8,47 % pro variantu 2Aa.

Ve vertikální rovině relativní chyba vypočtené a změřené hodnoty činitele denní osvětlenosti dosahuje pro bod W1 hodnot -5,37 % (varianta 2Bb – měření 1) až 0,36 % (varianta 2Bc – měření 2) a pro bod W2 hodnot -2,51 % (varianta 2Ab – měření 1) až 3,52 % (varianta 2Ba – měření 2). Z hodnot kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ je patrné, že ve vertikální rovině bylo dosaženo vysoké shody referenčních a vypočtených hodnot, neboť dle kritéria $rMBE$ se nejvíce liší vypočtené a referenční hodnoty o -1,90 % (varianta 2Ac) a hodnota kritéria $rRMSE$ nepřesahuje hodnotu 2,87 % (varianta 2Bb). Výpočty stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti se dle

kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ více shodují s hodnotami zjištěnými měřením pro body W1 a W2 ve vertikální rovině než pro body 1 – 4 v rovině horizontální.

Tab. 5.4.8: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 2Aa až 2Ac (autor)

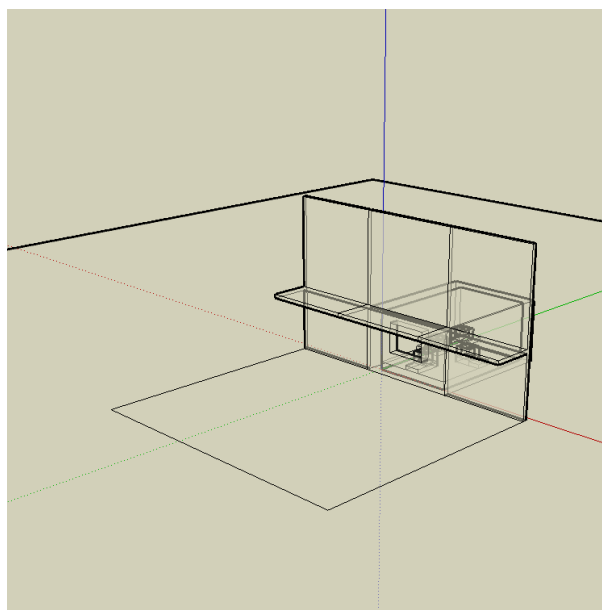
Varianta zastínění 2Aa: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	6,87	0,53	0,55	0,21	37,44	41,55
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	6,97	0,59	0,58	0,21	36,14	39,70
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	5,99	0,54	0,52	0,21	36,00	40,64
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,88	0,01	-0,03	0,00	-1,44	-0,91
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-12,81	1,89	-5,45	0,00	-3,85	-2,19
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,98	-0,05	-0,06	0,00	-0,14	0,94
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-14,06	-8,47	-10,34	0,00	-0,39	2,37
	$rMBE$	[%]	-6,16				-1,02	
	$rRMSE$	[%]	8,47				2,52	
Varianta zastínění 2Ab: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	7,17	0,66	0,68	0,27	41,36	44,27
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	7,21	0,74	0,74	0,27	40,42	43,08
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	6,35	0,68	0,67	0,27	39,97	43,16
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,82	0,02	-0,01	0,00	-1,39	-1,11
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-11,44	3,03	-1,47	0,00	-3,36	-2,51
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,86	-0,06	-0,07	0,00	-0,45	0,08
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-11,93	-8,11	-9,46	0,00	-1,11	0,19
	$rMBE$	[%]	-4,92				-1,70	
	$rRMSE$	[%]	7,41				2,17	
Varianta zastínění: 2Ac: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	8,31	1,02	1,01	0,40	54,43	52,27
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	8,35	1,11	1,10	0,43	53,45	51,46
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	7,38	1,04	1,06	0,42	52,33	51,44
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,93	0,02	0,05	0,02	-2,10	-0,83
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-11,19	1,96	4,95	5,00	-3,86	-1,59
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,97	-0,07	-0,04	-0,01	-1,12	-0,02
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-11,62	-6,31	-3,64	-2,33	-2,10	-0,04
	$rMBE$	[%]	-2,90				-1,90	
	$rRMSE$	[%]	6,82				2,34	
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu. Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.								

Tab. 5.4.9: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 2Ba až 2Bc (autor)

Varianta zastínění 2Ba: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$							
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	7,27	0,81	0,81	0,34	40,14	44,71
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	7,48	0,83	0,83	0,32	39,70	42,58
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	6,55	0,78	0,77	0,34	39,44	44,08
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	-0,72	-0,03	-0,04	0,00	-0,70	-0,63
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	-9,90	-3,70	-4,94	0,00	-1,74	-1,41
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	-0,93	-0,05	-0,06	0,02	-0,26	1,50
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	-12,43	-6,02	-7,23	6,25	-0,65	3,52
	rMBE	-4,75				-0,07	
	rRMSE	7,23				2,11	
Varianta zastínění 2Bb: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$							
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	7,68	0,92	0,94	0,41	46,53	48,11
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	8,01	1,01	0,99	0,38	44,26	46,94
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	6,96	0,92	0,93	0,42	44,03	47,23
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	-0,72	0,00	-0,01	0,01	-2,50	-0,88
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	-9,38	0,00	-1,06	2,44	-5,37	-1,83
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	-1,05	-0,09	-0,06	0,04	-0,23	0,29
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	-13,11	-8,91	-6,06	10,53	-0,52	0,62
	rMBE	-3,19				-1,78	
	rRMSE	7,86				2,87	
Varianta zastínění 2Bc: Vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$							
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	9,58	1,43	1,43	0,63	59,66	58,94
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	9,65	1,47	1,47	0,62	58,49	57,44
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	8,25	1,41	1,42	0,65	58,70	57,04
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	-1,33	-0,02	-0,01	0,02	-0,96	-1,90
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	-13,88	-1,40	-0,70	3,17	-1,61	-3,22
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	-1,40	-0,06	-0,05	0,03	0,21	-0,40
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	-14,51	-4,08	-3,40	4,84	0,36	-0,70
	rMBE	-3,75				-1,29	
	rRMSE	7,64				1,84	
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu. Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.							

5.4.7.3 Způsob zastínění 3: Horizontální překážka nad oknem

U způsobu zastínění 3 je okno místnosti stíněno horizontální překážkou nad oknem, která simuluje zastínění okna místnosti například průběžným balkonem. Horizontální překážka má celkovou šířkou 14 m a délku vyložení 2 m. Spodní hrana překážky se nachází ve vzdálenosti 2,75 m od podlahy hodnocené místnosti. Horizontální překážka tak vymezuje hranici viditelnosti oblohy z bodu ve středu okna místnosti v úhlu 30° (viz obr. 5.4.3). Pro výpočet v programu Daysim byl použit model zobrazený na obr. 5.4.6. Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřeními a výpočty jsou včetně hodnotících kritérií uvedeny v tab. 5.4.10 (varianty 3Aa – 3Ac) a v tab. 5.4.11 (varianty 3Ba – 3Bc).



Obr. 5.4.6 Zastínění místnosti horizontální překážkou nad oknem (varianty zastínění 3Aa – 3Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)

U všech variant kombinací povrchů byly v bodě 1 stanoveny výpočtem hodnoty činitele denní osvětlenosti nižší než měřeními. Nejméně se v bodě 1 liší vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti od hodnoty referenční v měření 1 varianty 3Ab, kde je vypočtená hodnota o 6,21 % nižší než hodnota referenční. Naopak nejvíce se v bodě 1 neshoduje vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti s hodnotou referenční v měření 2 pro variantu 3Bc, kde relativní chyba činí -10,98 %. V bodech 2 až 4 byly výpočtem pro všechny kombinace povrchů stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší než hodnoty referenční. V bodech 2 a 3 se relativní chyba $\Delta d_{i,sw}$ pohybuje v rozmezí 1,14 % (varianta 3Bb – bod 3 – měření 2) až 9,40 % (varianta 3Ac – bod 3 – měření 1). V bodě 4 jsou vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší než hodnoty referenční o 1,79 % (varianta 3Ac – měření 2) až o 11,76 % (varianta 3Ac – měření 1). Dle hodnotícího kritéria *rMBE* se v horizontální rovině vypočtené hodnoty liší od referenčních o 0,81 % (varianta 3Bc) až 2,76 % (varianta 3Ab). Hodnotícím kritériem *rRMSE* byla v horizontální rovině zjištěna nejvyšší shoda vypočtených a referenčních hodnot pro variantu 3Bb (*rRMSE* = 6,39 %) a naopak nejnižší shoda vypočtených a referenčních hodnot je ve variantě 3Ac (*rRMSE* = 7,55 %).

Tab. 5.4.10: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 3Aa až 3Ac (autor)

Varianta zastínění 3Aa: Horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	3,20	0,68	0,70	0,33	20,33	-
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	3,28	0,70	0,71	0,34	19,98	-
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	2,95	0,74	0,74	0,36	19,23	-
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,25	0,06	0,04	0,03	-1,10	-
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-7,81	8,82	5,71	9,09	-5,41	-
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,33	0,04	0,03	0,02	-0,75	-
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-10,06	5,71	4,23	5,88	-3,75	-
	rMBE	[%]	2,70				-4,58	-
	rRMSE	[%]	7,42				4,65	-
Varianta zastínění 3Ab: Horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	3,54	0,79	0,79	0,37	24,05	-
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	3,64	0,82	0,83	0,40	24,58	-
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	3,32	0,86	0,85	0,41	23,09	-
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,22	0,07	0,06	0,04	-0,96	-
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-6,21	8,86	7,59	10,81	-3,99	-
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,32	0,04	0,02	0,01	-1,49	-
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-8,79	4,88	2,41	2,50	-6,06	-
	rMBE	[%]	2,76				-5,03	-
	rRMSE	[%]	7,11				5,13	-
Varianta zastínění 3Ac: Horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$								
datum měření 1, 2		28. 2. 2016				18. 11. 2017		
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	4,89	1,17	1,17	0,51	35,82	-
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	4,75	1,22	1,21	0,56	36,38	-
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	4,40	1,24	1,28	0,57	34,94	-
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,49	0,07	0,11	0,06	-0,88	-
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-10,02	5,98	9,40	11,76	-2,46	-
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,35	0,02	0,07	0,01	-1,44	-
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-7,37	1,64	5,79	1,79	-3,96	-
	rMBE	[%]	2,37				-3,21	-
	rRMSE	[%]	7,55				3,30	-
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu. Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.								

Tab. 5.4.11: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 3Ba až 3Bc (autor)

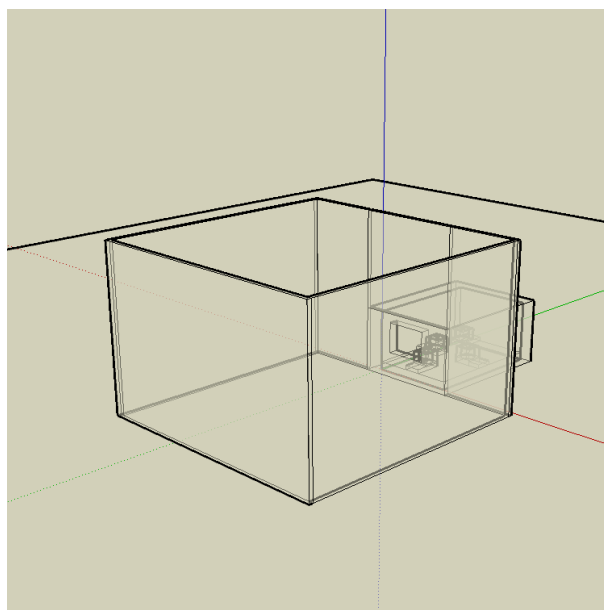
Varianta zastínění 3Ba: Horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$								
datum měření 1, 2			28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	3,39	0,72	0,72	0,35	21,16	-
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	3,41	0,71	0,71	0,36	21,61	-
Daysim	$D_{i, SW, 1} =$ $D_{i, SW, 2}$	[%]	3,11	0,74	0,76	0,38	20,27	-
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,28	0,02	0,04	0,03	-0,89	-
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-8,26	2,78	5,56	8,57	-4,21	-
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,30	0,03	0,05	0,02	-1,34	-
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-8,80	4,23	7,04	5,56	-6,20	-
	$rMBE$	[%]	2,09				-5,21	-
	$rRMSE$	[%]	6,67				5,30	-
Varianta zastínění 3Bb: Horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$								
datum měření 1, 2			28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	3,96	0,87	0,87	0,39	26,67	-
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	4,01	0,87	0,88	0,39	25,97	-
Daysim	$D_{i, SW, 1} =$ $D_{i, SW, 2}$	[%]	3,63	0,91	0,89	0,42	24,91	-
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,33	0,04	0,02	0,03	-1,76	-
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-8,33	4,60	2,30	7,69	-6,60	-
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,38	0,04	0,01	0,03	-1,06	-
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-9,48	4,60	1,14	7,69	-4,08	-
	$rMBE$	[%]	1,28				-5,34	-
	$rRMSE$	[%]	6,39				5,49	-
Varianta zastínění 3Bc: Horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$								
datum měření 1, 2			28. 2. 2016				18. 11. 2017	
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	5,82	1,31	1,32	0,60	42,07	-
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	5,92	1,29	1,28	0,59	41,86	-
Daysim	$D_{i, SW, 1} =$ $D_{i, SW, 2}$	[%]	5,27	1,36	1,36	0,62	40,45	-
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,55	0,05	0,04	0,02	-1,62	-
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-9,45	3,82	3,03	3,33	-3,85	-
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,65	0,07	0,08	0,03	-1,41	-
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-10,98	5,43	6,25	5,08	-3,37	-
	$rMBE$	[%]	0,81				-3,61	-
	$rRMSE$	[%]	6,51				3,62	-
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu. Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.								

Ve vertikální rovině byla pro zastínění horizontální překážkou zjišťována hodnota činitele denní osvětlenosti pouze u bodu W1 ve výšce 2 m nad terénem. V tomto bodě jsou všechny vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem nižší než hodnoty stanovené měřením, přičemž se vypočtené a referenční hodnoty liší o -6,60 % (varianta 3Bb – měření 1) až -2,46 % (varianta 3Ac – měření 1). Kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ byla pro vertikální rovinu pro každou variantu stanovena pouze na základě dvou změřených hodnot a jedná se tedy pouze o

orientační hodnoty. Pro bod ve vertikální rovině se hodnota kritéria $rMBE$ pohybuje v rozmezí -5,34 % (varianta 3Bb) až -3,21 % (varianta 3Ac) a kritérium $rRMSE$ nabývá hodnot 3,30 % (varianta 3Ac) až 5,49 % (varianta 3Bb).

5.4.7.4 Způsob zastínění 4: Čtvercový vnitroblok

U způsobu zastínění 4 se hodnocená místnost nacházela ve čtvercovém vnitrobloku s délkou strany 12 m a výškou 8 m dle obr. 5.4.3. Jedná se tedy o vnitroblok s poměrem výšky vůči délce strany 2 : 3. Světelné simulace v programu Daysim byly provedeny pro model na obr. 5.4.7. Měřeními a výpočty stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti jsou uvedeny pro varianty 4Aa až 4Ac v tab. 5.4.12 a pro variantu 4Ba až 4Bc v tab. 5.4.13. V těchto tabulkách jsou také vyčíslena hodnotící kritéria.



Obr. 5.4.7 Zastínění místnosti ve vnitrobloku (varianty zastínění 4Aa až 4Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)

Pro všechny kombinace povrchů u způsobu zastínění 4 byly v obou měřeních stanoveny v bodech 1 až 4 vyšší hodnoty činitele denní osvětlenosti než na základě výpočtu. Relativní chyba $\Delta d_{i,sw}$ změřených a vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti se v bodě 1 pohybuje od -14,33 % (varianta 4Ba – měření 2) do -8,05 % (varianta 4Bc – měření 1). V bodech 2 a 3 se z hlediska relativní chyby nejvíce liší od výpočtu hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená pro variantu 4Ac měřením 2 v bodě 2, kde je vypočtená hodnota o 11,43 % nižší než hodnota určená měřeními. V bodech 2 a 3 se nejméně vypočtená a změřená hodnota činitele denní osvětlenosti liší v bodě 3 pro měření 1 varianty 4Bb, kde je relativní chyba rovna hodnotě -1,39 %. V bodě 4 se relativní chyba vypočtených hodnot od hodnot změřených nachází v rozmezí -14,29 % (varianta 4Aa – měření 2) až -3,03 % (varianta 4Bb – měření 1). Pro jednotlivé měřené varianty nabývá kritérium $rMBE$ pro body 1 až 4 hodnoty -9,20 % (varianta 4Ab) až -7,62 % (varianta 4Bb). Kritérium $rRMSE$ dosahuje pro hodnocené body v horizontální rovině hodnot 8,60 % (varianta 4Ba) až 9,63 % (varianta 4Ab).

Tab. 5.4.12: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 4Aa až 4Ac (autor)

Varianta zastínění 4Aa: Čtvercový vnitroblok výšky se stranou délky 12 m a s výškou 8 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$									
datum měření 1, 2			4. 11. 2017						
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	5,47	0,31	0,31	0,13	25,33	34,71	
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	5,69	0,33	0,33	0,14	25,56	34,66	
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	4,98	0,30	0,30	0,12	23,21	32,95	
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,49	-0,01	-0,01	-0,01	-2,12	-1,76	
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-8,96	-3,23	-3,23	-7,69	-8,37	-5,07	
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,71	-0,03	-0,03	-0,02	-2,35	-1,71	
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-12,48	-9,09	-9,09	-14,29	-9,19	-4,93	
	rMBE	[%]	-8,51					-6,89	
	rRMSE	[%]	9,26					7,15	
Varianta zastínění 4Ab: Čtvercový vnitroblok se stranou délky 12 m a s výškou 8 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$									
datum měření 1, 2			4. 11. 2017						
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	5,84	0,39	0,41	0,18	27,21	36,64	
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	5,90	0,42	0,42	0,18	28,07	37,25	
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	5,21	0,38	0,38	0,16	25,93	34,62	
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,63	-0,01	-0,03	-0,02	-1,28	-2,02	
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-10,79	-2,56	-7,32	-11,11	-4,70	-5,51	
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,69	-0,04	-0,04	-0,02	-2,14	-2,63	
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-11,69	-9,52	-9,52	-11,11	-7,62	-7,06	
	rMBE	[%]	-9,20					-6,22	
	rRMSE	[%]	9,63					6,33	
Varianta zastínění 4Ac: Čtvercový vnitroblok se stranou délky 12 m a s výškou 8 m tmavá překážka A) $\rho_{a, SW, 5} = 0,19$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$									
datum měření 1, 2			4. 11. 2017						
hodnocení bod i			1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i,ref, 1}$	[%]	6,53	0,64	0,64	0,29	36,08	41,29	
měření 2	$D_{i,ref, 2}$	[%]	6,62	0,70	0,69	0,28	36,98	43,56	
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	5,89	0,62	0,62	0,26	33,73	39,55	
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,64	-0,02	-0,02	-0,03	-2,35	-1,74	
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-9,80	-3,13	-3,13	-10,34	-6,51	-4,21	
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,73	-0,08	-0,07	-0,02	-3,25	-4,01	
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-11,03	-11,43	-10,14	-7,14	-8,79	-9,21	
	rMBE	[%]	-8,27					-7,18	
	rRMSE	[%]	8,86					7,45	
Poznámka:									
Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu.									
Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.									

Tab. 5.4.13: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 4Ba až 4Bc (autor)

Varianta zastínění 4Ba: Čtvercový vnitroblok výšky se stranou délky 12 m a s výškou 8 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén a) $\rho_{a, SW, 7} = 0,10$								
datum měření 1, 2		4. 11. 2017						
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	6,42	0,59	0,60	0,26	30,84	40,47
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	6,55	0,64	0,64	0,27	32,14	41,12
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	5,71	0,58	0,57	0,25	29,92	40,04
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,71	-0,01	-0,03	-0,01	-0,92	-0,43
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-11,06	-1,69	-5,00	-3,85	-2,98	-1,06
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,84	-0,06	-0,07	-0,02	-2,22	-1,08
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-12,82	-9,38	-10,94	-7,41	-6,91	-2,63
	rMBE	[%]	-7,77				-3,40	
	rRMSE	[%]	8,60				4,02	
Varianta zastínění 4Bb: Čtvercový vnitroblok se stranou délky 12 m a s výškou 8 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén b) $\rho_{a, SW, 8} = 0,25$								
datum měření 1, 2		4. 11. 2017						
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	6,73	0,72	0,72	0,33	35,58	44,27
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	7,05	0,77	0,76	0,37	34,98	43,72
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	6,04	0,70	0,71	0,32	33,52	42,54
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,69	-0,02	-0,01	-0,01	-2,06	-1,73
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-10,25	-2,78	-1,39	-3,03	-5,79	-3,91
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-1,01	-0,07	-0,05	-0,05	-1,46	-1,18
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-14,33	-9,09	-6,58	-13,51	-4,17	-2,70
	rMBE	[%]	-7,62				-4,14	
	rRMSE	[%]	8,93				4,29	
Varianta zastínění 4Bc: Čtvercový vnitroblok se stranou délky 12 m a s výškou 8 m světla překážka B) $\rho_{a, SW, 6} = 0,58$; terén c) $\rho_{a, SW, 9} = 0,70$								
datum měření 1, 2		4. 11. 2017						
hodnocení bod i		1	2	3	4	W1	W2	
měření 1	$D_{i, ref, 1}$	[%]	7,70	1,14	1,14	0,53	48,15	52,15
měření 2	$D_{i, ref, 2}$	[%]	8,02	1,18	1,18	0,54	47,36	51,66
Daysim	$D_{i, SW, 1} = D_{i, SW, 2}$	[%]	7,08	1,08	1,07	0,48	45,89	50,98
	$\Delta D_{i, SW, 1}$	[p. b.]	-0,62	-0,06	-0,07	-0,05	-2,26	-1,17
	$\Delta d_{i, SW, 1}$	[%]	-8,05	-5,26	-6,14	-9,43	-4,69	-2,24
	$\Delta D_{i, SW, 2}$	[%]	-0,94	-0,10	-0,11	-0,06	-1,47	-0,68
	$\Delta d_{i, SW, 2}$	[p. b.]	-11,72	-8,47	-9,32	-11,11	-3,10	-1,32
	rMBE	[%]	-8,69				-2,84	
	rRMSE	[%]	8,93				3,10	
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i, SW, j}$ a $\Delta d_{i, SW, j}$ v bodech 1 až 4 pro testovanou variantu. Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Označení hodnocených bodů dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.								

Ve vertikální rovině byly hodnoty činitele denní osvětlenosti stanoveny v bodech W1 a W2. Z hodnot relativní chyby $\Delta d_{i, SW, j}$ pro oba hodnocené body a obě měření je přitom zřejmé, že všechny hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené ve vertikální rovině měřením byly vyšší než hodnoty stanovené výpočtem. V porovnání s měřeními byly výpočtem stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti pro bod W1 nižší o 2,98 % (varianta 4Ba – měření 1) až 9,19 %

(varianta 4Aa – měření 2) a pro bod W2 nižší o 1,06 % (varianta 4Ba – měření 1) až 9,21 % (varianta 4Ac – měření 2), Z hodnot kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ pro body W1 a W2 vyplývá, že méně se vypočtené hodnoty liší od hodnot stanovených měřením v případě vnitrobloku s vertikálními povrchy s vyšším činitelem odrazu světla (tj. varianty 4Ba až 4Bc), pro které se hodnota kritéria $rMBE$ nachází v rozmezí -2,84 % (varianta 4Bc) až -4,14 % (varianta 4Bb) a kritérium $rRMSE$ dosahuje maximální hodnoty 4,29 % (varianta 4Bb). Oproti tomu u variant 4Aa až 4Ac, kde je vnitroblok tvořen vertikálními povrchy s nižší reflektancí, kritérium $rMBE$ nabývá pro body W1 a W2 hodnot v rozmezí -7,18 % (varianta 4Ac) až -6,22 % (varianta 4Ab) a kritérium $rRMSE$ dosahuje hodnoty 6,33 % (varianta 4Ab) až 7,45 % (varianta 4Ac). Stejně jako u předcházejících zastínění vertikálními překážkami (tj. varianty zastínění 1Aa až 1Bc, 2Aa až 2Bc) tedy byla také u vnitrobloku pomocí hodnotících kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ zjištěna vyšší shoda změřených a vypočtených hodnot u bodů ve vertikální rovině než v rovině horizontální.

5.4.8 Shrnutí validování programu Daysim pomocí měření na modelu

V rámci měření na modelu byly stanoveny měřením referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti, které byly následně porovnány s hodnotami stanovenými výpočty v programu Daysim. Při měření na modelu byla uvažována místnost zastíněná jednou ze 4 stínících překážek: 1) vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m od okna místnosti, 2) vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m od okna místnosti; 3) horizontální překážka nad oknem s délkou vyložení 2 m; 4) čtvercový vnitroblok s délkou strany 12 m a s výškou 8 m. Schéma půdorysu a řezu pro jednotlivé varianty zastínění je zobrazeno na obr. 5.4.3. Pro každý ze čtyř způsobů zastínění bylo uvažováno 6 kombinací činitelů odrazu světla od vnějších povrchů dle tab. 5.4.2. Denní osvětlenosti byly na modelu měřeny v horizontální a vertikální rovině. V horizontální rovině byly denní osvětlenosti stanovovány ve čtyřech bodech pro všechny způsoby zastínění. Ve vertikální rovině byly denní osvětlenosti měřeny ve dvou bodech pro obě zastínění vertikální překážkou a pro čtvercový vnitroblok. V případě horizontální překážky nad oknem byla hodnota činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině stanovena pouze v jednom bodě. Referenční hodnoty byly zjištěny pomocí dvou platných měření, přičemž v každém z těchto měření bylo stanoveno celkově 138 referenčních hodnot (96 referenčních hodnot pro horizontální rovinu a 42 referenčních hodnot pro vertikální rovinu). Zároveň byly pro všechny varianty zastínění stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti také pomocí světelných simulací v programu Daysim. Následně bylo provedeno vyhodnocení diferencí vypočtených hodnot od hodnot změřených.

Relativní chyby $\Delta d_{i,sw,j}$ vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti od hodnot změřených jsou pro jednotlivé body a měření uvedeny v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13 a zrekapitulovány v grafech na obr. 5.4.8 a obr. 5.4.9. Absolutní četnosti relativních chyb $\Delta d_{i,sw,j}$ vypočtených hodnot od hodnot referenčních jsou pro zvolené intervaly uvedeny v tab. 5.4.14 pro body horizontální roviny a v tab. 5.4.15 pro body vertikální roviny.

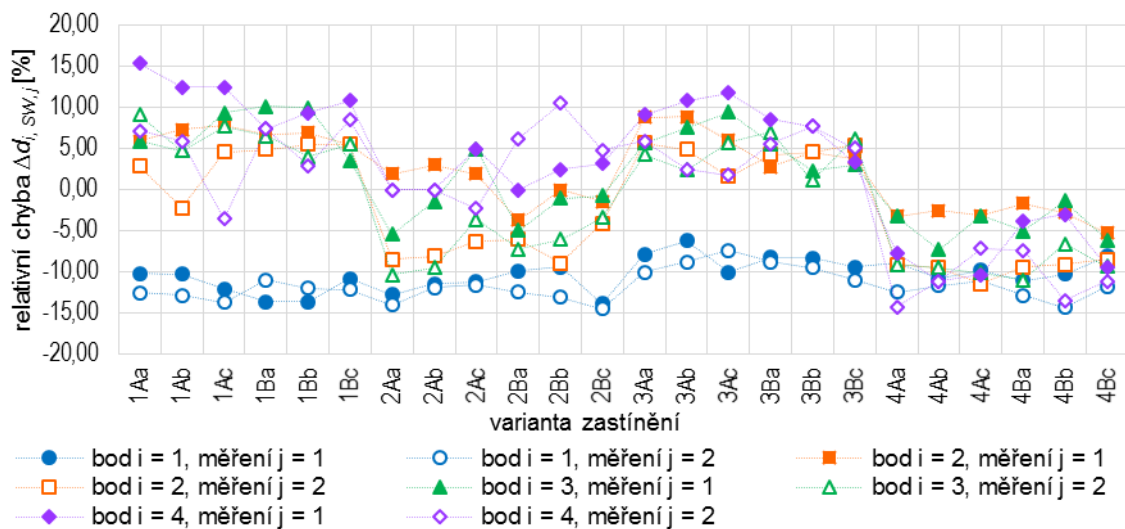
Pro body 1 až 4 v horizontální rovině bylo pro vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti dosaženo relativní chyby $\Delta d_{i,sw,j}$ v intervalu <-10 %; 10 %) pro 139 referenčních hodnot (tj. 72,4 %) a relativní chyby $\Delta d_{i,sw,j}$ v intervalu <-15 %; 15 %) pro 191 referenčních hodnot (tj. 99,5 %). Napříč hodnocenými variantami bylo dosaženo

nejmenší shody vypočtených a změřených hodnot v bodě 1, který se nachází uprostřed šířky místnosti ve vzdálenosti 1 m od okna. V tomto bodě byly stanoveny výpočtem vždy nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti než hodnoty stanovené měřením, přičemž relativní chyba vypočtených hodnot od hodnot změřených leží v intervalu $<-15; -10)$ pro 14 referenčních hodnot pro měření 1 a pro 20 referenčních hodnot pro měření 2. V horizontální rovině se o více než $\pm 15\%$ liší vypočtená hodnota od hodnoty změřené pouze v měření 1 pro bod 4 u varianty 1Aa.

Tab. 5.4.14: Absolutní četnosti relativní chyby $\Delta d_{i, sw, j}$ [%] vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech 1 až 4 od hodnot změřených na modelu pro varianty 1Aa až 4Bc (autor)

$\Delta d_{i, sw, j}$ [%]		<-15	<-15; -10)	<-10; -5)	<-5; 0)	<0; 5)	<5; 10)	<10; 15)	≥ 15
bod i	měření j	absolutní četnost zjištěné hodnoty $\Delta d_{i, sw, j}$ [%] pro body i v rámci měření j pro varianty zastínění 1Aa až 4Bc							
1	1	0	14	10	0	0	0	0	0
1	2	0	20	4	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	7	7	9	0	0
2	2	0	1	10	2	7	4	0	0
3	1	0	0	3	8	5	6	2	0
3	2	0	3	7	2	5	7	0	0
4	1	0	2	2	2	6	6	5	1
4	2	0	4	2	2	6	9	1	0
celkem	1	0	16	16	17	18	21	7	1
celkem	2	0	28	23	6	18	20	1	0
celkem	1 + 2	0	44	39	23	36	41	8	1

Poznámka:
 Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Hodnocené body dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.
 Tabulka sestavena dle dat uvedených v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13.



Poznámka:

Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Hodnocené body dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.

Grafy sestaveny dle dat uvedených v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13.

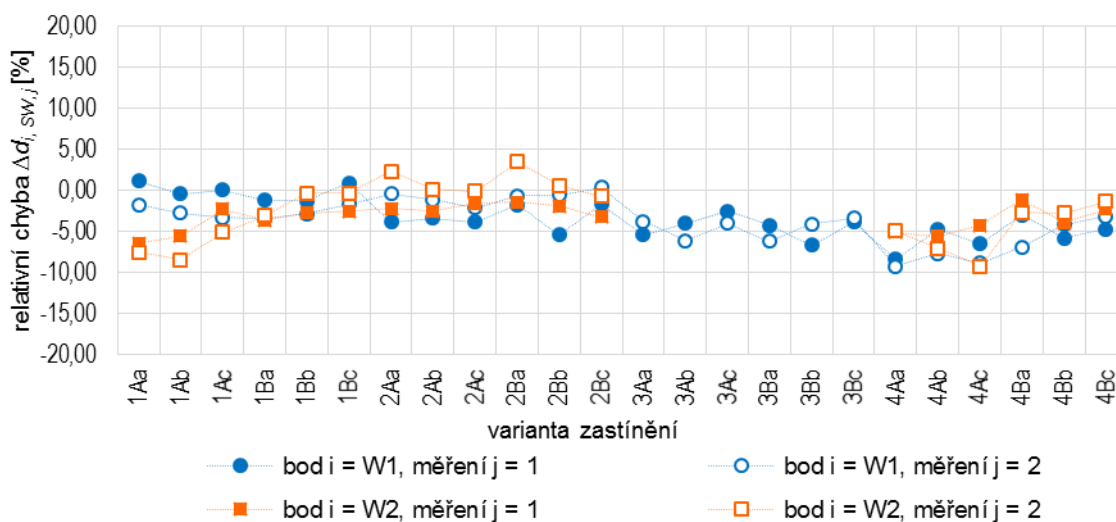
Obr. 5.4.8 Rekapitulace relativních chyb pro body 1 – 4 v horizontální rovině pro měření na modelu (autor)

U bodů W1 a W2 ve vertikální rovině se všechny vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti od hodnot referenčních neliší o více než $\pm 10\%$. Nejvíce se lišila vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti od referenční hodnoty určené v bodě W2 pro měření 2 u varianty 4Ac, kde realitní chyba dosáhla hodnoty $-9,21\%$. U vertikální překážky (tj. varianty zastínění 1Aa až 2Bc) byly výpočty stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech W1 a W2 převážně nižší než hodnoty referenční. V případě horizontální překážky nad oknem (varianta 3Aa – 3Bc) a čtvercového vnitrobloku (varianta 4Aa – 4Bc) byly světelnými simulacemi v programu Daysim stanoveny pro body ve vertikální rovině pouze nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti než hodnoty referenční.

Tab. 5.4.15: Absolutní četnosti relativní chyby $\Delta d_{i, sw, j}$ [%] vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech W1 a W2 od hodnot změřených na modelu pro varianty 1Aa až 4Bc (autor)

$\Delta d_{i, sw, j}$ [%]		<-15	<-15; -10)	<-10; -5)	<-5; 0)	<0; 5)	<5; 10)	<10; 15)	≥ 15
bod i	měření j	absolutní četnost zjištěné hodnoty $\Delta d_{i, sw, j}$ [%] pro body i v rámci měření j pro varianty zastínění 1Aa až 4Bc							
W1	1	0	0	6	15	3	0	0	0
W1	2	0	0	6	17	1	0	0	0
W2	1	0	0	4	14	6	0	0	0
W2	2	0	0	5	9	10	0	0	0
celkem	1	0	0	10	29	9	0	0	0
celkem	2	0	0	11	26	11	0	0	0
celkem	1 + 2	0	0	21	55	20	0	0	0

Poznámka:
 Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Hodnocené body dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.
 Tabulka sestavena dle dat uvedených v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13.



Poznámka:

Označení variant zastínění dle tab. 5.4.2. Hodnocené body dle obr. 5.4.2 a obr. 5.4.3.

Grafy sestaveny dle dat uvedených v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13.

Obr. 5.4.9 Rekapitulace relativních chyb pro body W1 a W2 ve vertikální rovině pro měření na modelu (autor)

Na základě provedené literární rešerše lze při ověření přesnosti světelně technických programů považovat za přípustné relativní chyby vypočtených hodnot oproti hodnotám změřeným zhruba do 20 až 25 %. Tato velikost relativní chyby je při měření pod přírodní oblohou dána neustálou proměnlivostí jasů oblohy. Diference ve změřených a výpočty stanovených hodnotách činitele denní osvětlenosti mohou být způsobeny také odlišnostmi v geometrii a světelně technických vlastnostech mezi fyzickým a počítačovým modelem. Diference mezi změřeným a vypočtenými hodnotami mohou vznikat také chybami v průběhu měření. (např. [54]; [55]; [56]; [83]; [95]; [104] str. 67 – 68)

Při měření na modelu se veškeré výpočty stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti od hodnot změřených lišily maximálně o 15,38 %. Ačkoliv byl jas oblohy v průběhu měření kontrolován, nebylo možné s ohledem na dostupné prostředky pro měření jasů oblohy kontrolovat sedm hodnot jasů ve stejný okamžik, jako probíhal odečet osvětleností. Při měření bylo dbáno na to, aby byl model sestaven co nejpřesněji. Části modelu opatřené barevnými fóliemi byly mimo měření skladovány tak, aby byly eliminovány změny jejich světelně technických vlastností. I přesto se však geometrie a světelně technické vlastnosti reálného a počítačového modelu nemusely plně shodovat. **Z hlediska relativní chyby změřených a vypočtených hodnot je tedy hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim možné považovat za akceptovatelné z hlediska využití programu pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov.**

Pro provedená měření variant zastínění se v horizontální rovině vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti liší od hodnot referenčních o -9,20 % (varianta 4Ab) až 2,93 % (varianta 1Aa) dle kritéria *rMBE* a o 6,39 % (varianta 3Bb) až 9,63 % (varianta 4Ab) dle kritéria *rRMSE*. Pro body ve vertikální rovině bylo dosaženo hodnot kritéria *rMBE* v rozmezí -7,18 % (varianta 4Ac) až -0,07 % (varianta 2Ba) a kritéria *rRMSE* v rozmezí od 1,56 % (varianta 1Bc) do 7,45 % (varianta 4Ac). Pomocí kritérií *rMBE* a *rRMSE* ověřovali přesnost navržené výpočetní metody pro stanovení denní osvětlenosti u zastíněných budov oproti naměřeným hodnotám také D. Li et al. v článku [83]. Autoři článku [83] uvedli, že se hodnoty vypočtené navrženou metodou liší od hodnot změřených dle kritéria *rMBE* o 6,2 % a dle kritéria *rRMSE* o 14,3 %. Pro tyto hodnoty kritérií *rMBE* a *rRMSE* je v [83] navržená metoda považována za dostatečně přesnou. **V rámci měření na modelu v této dizertační práci bylo dle kritérií *rMBE* a *rRMSE* dosaženo obdobné chyby vypočtených a změřených hodnot jako v publikovaném článku [83], a proto lze hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim považovat za dostatečně přesné z hlediska využití programu pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov.**

5.5 VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA STANOVENÍ Činitele denní osvětlenosti pomocí měření in-situ

Měření na modelu byla navržena tak, aby pomocí nich byla ověřena shoda hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených měření a výpočtem pro základní typy stínících překážek. Pro měření in-situ byly vybrány místnosti, které jsou zastíněny dvěma různými překážkami. První měřenou místností byla místnost ve Žďáru nad Sázavou s oknem umístěným v rohu vnitrobloku, přičemž okno této místnosti bylo variantně zastínováno také horizontální konstrukcí nad oknem. Druhou hodnocenou místností byla místnost v Brně, jejíž okna jsou kromě naproti stojící budovy stíněna také spojovacím mostem mezi budovami. **Účelem měření in-situ tedy bylo zjistit difference mezi hodnotami činitele denní osvětlenosti stanovenými měření a výpočtem pro místnosti se složitějším zastíněním.** Součástí měření in-situ bylo:

- stanovení činitele denní osvětlenosti v hodnocených bodech na základě měření;
- stanovení světelně technických vlastností vnitřních a vnějších povrchů pro vytvoření komparativního modelu hodnocené situace v programu Daysim.

5.5.1 Metodika měření in-situ společná pro měření ve Žďáru nad Sázavou i v Brně

5.5.1.1 Přístroje použité pro měření jasů oblohy a denních osvětleností

Denní osvětlenosti a jasy byly v rámci měření in-situ měřeny pomocí přístrojů, které byly v době uskutečnění měření k dispozici na Ústavu pozemního stavitelství Vysokého učení technického v Brně. Jasy oblohy, vnitřních a vnějších povrchů byly stanoveny pomocí bodových jasoměrů Konica Minolta LS 100 (výrobní číslo 82413005) nebo Gossen Mavo-Spot 2 (výrobní číslo: 5B40989). Osvětlenosti v interiéru byly měřeny pomocí čtyř čidel Ahlborn FLA 623 VL (výrobní čísla: 13050699, 13050698, 13050697, 13050696) zapojených do dataloggeru Ahlborn Almemo 2590-4S (výrobní číslo: H10100878). Osvětlenost horizontální nezastíněné roviny v exteriéru byla měřena pomocí jednoho čidla Ahlborn FLA 623 VL (výrobní číslo: 14101287) společně s dataloggerem Ahlborn Almemo 2590-4S (výrobní číslo: H10100879). Použití čidel pro konkrétní měření osvětleností je popsáno v tab. 5.5.3 a tab. 5.5.6. Technické parametry použitých měřicích přístrojů jsou uvedeny v příloze 12.1.

5.5.1.2 Měření jasů oblohy a denních osvětleností pro stanovení činitele denní osvětlenosti

Pro ověření podmínek měření in-situ při rovnoměrně zatažené obloze vhodné pro stanovení činitele denní osvětlenosti byly autorkou dizertační práce kontrolovány jasy oblohy dle kritérií platnosti měření jasů uvedených v kapitole 5.4.4.2. Měření in-situ byla provedena pro prostory s osvětlovacími otvory v jedné stěně, proto byly jasy oblohy stanovovány pouze pro polorovinu oblohy ovlivňující denní osvětlení měřeného vnitřního prostoru. V průběhu měření byl jasoměr připevněn na stativ s trubicovou a krabicovou libelou, jejichž urovnáním byla zajištěna horizontace přístroje. Otáčivá hlava stativu byla pro účely měření jasů oblohy opatřena ryskami, které vymezily nastavení sklonu pro měření jasů oblohy v elevačních úhlech 15°, 45° a 90°.

Čidla Ahlborn FLA 623 VL pro měření horizontálních denních osvětleností byla v interiéru umístěna na výškově nastavitelné stativy s horizontální libelou pro zajištění horizontace čidla.

Výška stativu byla nastavena tak, aby se fotonka čidla nacházela ve výšce 850 mm nad podlahou. Čidlo pro měření vertikální osvětlenosti v rovině zasklení okna z vnější strany bylo při měření umístěno v průčelí fasády tak, aby se střed fotonky čidla nacházel na ose vedené středem šířky okna v příslušné výšce. Čidlo pro měření denní osvětlenosti venkovní horizontální nezastíněné roviny bylo umístěno na výškově nastavitelný stativ s trubicovou a krabicovou libelou. Urovnáním obou libel byla zajištěna horizontální poloha fotonky čidla. Horizontální poloha čidel pro měření osvětleností v horizontální rovině v interiéru i exteriéru byla kontrolována po celou dobu měření.

5.5.1.3 Stanovení světelně technických vlastností povrchů pro počítačový model

Při měření in-situ bylo nutné stanovit světelně technické vlastnosti vnitřních a venkovních povrchů, aby bylo možné porovnat hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením in-situ s hodnotami stanovenými výpočtem v programu Daysim. Zjištěné světelně technické vlastnosti vnitřních a vnějších povrchů byly následně použity při tvorbě počítačového modelu hodnocené situace.

5.5.1.3.1 Stanovení činitele odrazu světla při měření in-situ (netransparentní povrchy)

Stanovení světelné odrazivosti vnitřních a vnějších povrchů bylo provedeno dle metodiky popsané v čl. 4.7.1 normy ČSN 36 0011-1 [16]. Metoda je založena na změření jasu hodnoceného povrchu a etalonu o známé hodnotě činitele odrazu světla při shodných světelných podmínkách. Činitel odrazu světla hodnoceného povrchu se následně stanoví dle vzorce (5.5.1).

$$\rho_b = \frac{\rho_E \cdot L_b}{L_E} \quad (5.5.1)$$

- ρ_b [-] – činitel odrazu světla hodnoceného povrchu;
- ρ_E [-] – činitel odrazu světla etalonu;
- L_b [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas hodnoceného povrchu;
- L_E [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas povrchu etalonu stanovený ve stejném místě jako jas hodnoceného povrchu. ([16] čl. 4.7.1)

Na měřené místo hodnoceného povrchu byl přiložen etalon, jehož jas byl změřen bodovým jasoměrem (fotografie z měření jasu etalonu jsou uvedeny na obr. 5.5.1). Bezprostředně po odečtu jasu povrchu etalonu byl etalon z měřeného místa odebrán a ve stejném místě byl změřen jas hodnoceného povrchu. Z důvodu neustálé proměnlivosti denního světla v průběhu měření bylo nutné minimalizovat časovou prodlevu mezi odečtem jasu etalonu a měřeného povrchu, proto bylo měření prováděno ve dvou osobách. Autorka dizertační práce prováděla měření jasů a spolupracovník zajišťoval upevnění a odebrání etalonu z měřeného povrchu. Jasoměr byl v průběhu měření připevněn na stativ s trubicovou a krabicovou libelou pro zajištění horizontace přístroje. Jasoměr byl na stativu upevněn v takové výšce, aby při měření směřoval kolmo k měřenému povrchu. Pro jednotlivé typy povrchů bylo provedeno měření jasů v deseti různých bodech (viz příloha 12.4.1, 12.4.3 a 12.4.4).



Obr. 5.5.1: Měření in-situ pro stanovení činitele odrazu světla venkovní stěny pomocí měření jasů etalonu jasoměrem Gossen Mavo-Spot 2 ve Žďáru nad Sázavou, vlevo fotografie jasoměru a etalonu, vpravo pohled do okuláru jasoměru Gossen Mavo-Spot 2 se zobrazením změřené hodnoty jasů na povrchu etalonu (autor)

Jako etalon byly pro účely měření in-situ použity plastové desky rozměrů 100 mm × 100 mm × 0,08 mm a 210 mm × 150 mm × 0,08 mm s nalepenou modrou folií (viz obr. 5.5.1). Činitel odrazu světla modré folie etalonu byl stanoven pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-5 ve spolupráci s Ing. Peterem Hartmanem, PhD. ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě. Pro etalon byla z 10 měření v různých bodech plochy modré folie stanovena hodnota činitele odrazu světla etalonu $\rho_E = (0,1961 \pm 0,0002)$, přičemž přehled změřených hodnot a výpočet činitele odrazu světla je uveden v příloze 12.2. Pro stanovení hodnot činitelů odrazu světla vnitřních a vnějších povrchů pro měření in-situ je činitel odrazu světla etalonu uvažován s přesností dvou desetinných míst – tzn. **činitel odrazu světla etalonu $\rho_E = 0,20$** . Tato přesnost činitele odrazu světla etalonu se jeví jako vhodná a dostačující s ohledem na stanovení jasů povrchů při měření in-situ pomocí bodového jasoměru při neustále proměnlivém denním světle.

5.5.1.3.2 Stanovení činitele prostupu světla pro zasklení jedním čirým sklem

Stanovení činitele prostupu světla pro stínící konstrukce nebo zařízení místnosti zasklené jedním čirým sklem bylo provedeno pomocí přístroje Pocket Detective 2.1 (viz příloha 12.1.4). Tento přístroj je určen pro měření světelné propustnosti transparentních materiálů, jejichž tloušťka se pohybuje v rozmezí 1 mm až 6 mm ([139] str. 1). Změřené hodnoty světelných propustností přístroj měří v procentech.

5.5.1.3.3 Stanovení světelné propustnosti oken při měření in-situ

Hodnota činitele prostupu světla zasklením je rovna podílu jasů pozadí změřeného při zavřeném okně a jasů pozadí změřeného ve stejném místě při otevřeném okně dle vzorce (5.5.2):

$$\tau = \frac{L_Z}{L_O} \quad (5.5.2)$$

- τ [-] – činitel prostupu světla zasklením;
- L_Z [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$] – jas pozadí osvětlovacího otvoru (např. obloha, fasáda) při zavřeném okně;

- L_o [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$] – jas pozadí osvětlovacího otvoru (např. obloha, fasáda) při otevřeném okně. ([18] čl. 4.6.5.1)

Měření jasu pozadí při otevřeném a zavřeném okně je nutné provádět v minimálních časových odstupech z důvodu neustálé proměnlivosti denního světla. Z tohoto důvodu bylo měření pro určení činitele prostupu světla uskutečněno za účasti dvou osob, kdy autorka dizertační práce měřila jasy pozadí osvětlovacího otvoru a spolupracovník otevíral a zavíral okno. Měření bylo provedeno v 10 různých bodech okna – viz příloha 12.4.2, 12.4.3 a 12.4.4.

Měření činitele prostupu světla zasklením bylo provedeno včetně činitele znečištění, neboť hodnoty činitele prostupu světla zasklením jsou stanovovány z důvodu ověření přesnosti výpočtů světelně technickým programem Daysim. Tento program podobně jako program Velux Daylight Visualizer nebo Radiance nenabízí možnost zadat hodnotu činitele znečištění. V těchto programech je možné zadat pouze celkovou hodnotu prostupu světla zasklením se zahrnutím všech korekcí. Hodnota celkového činitele znečištění osvětlovacího otvoru se stanoví jako podíl jasu stanoveného pro oboustranně znečištěné výplně osvětlovacího otvoru a jasu stanoveného pro oboustranně vyčištěné výplně osvětlovacího otvoru ([18] čl. 4.6.6.2). Korekce znečištění osvětlovacího otvoru se do výpočtu činitele denní osvětlenosti (případně hladin osvětlenosti) zahrne vynásobením hodnoty činitele prostupu světla čistým zasklením hodnotou celkového činitele znečištění ([115] str. 138). Je tedy zřejmé, že změřením činitele prostupu světla pro oboustranně nevyčištěné výplně osvětlovacího otvoru je stanovena hodnota činitele prostupu světla $\tau_{s,z}$ [-] s již zahrnutou korekcí celkového činitele znečištění.

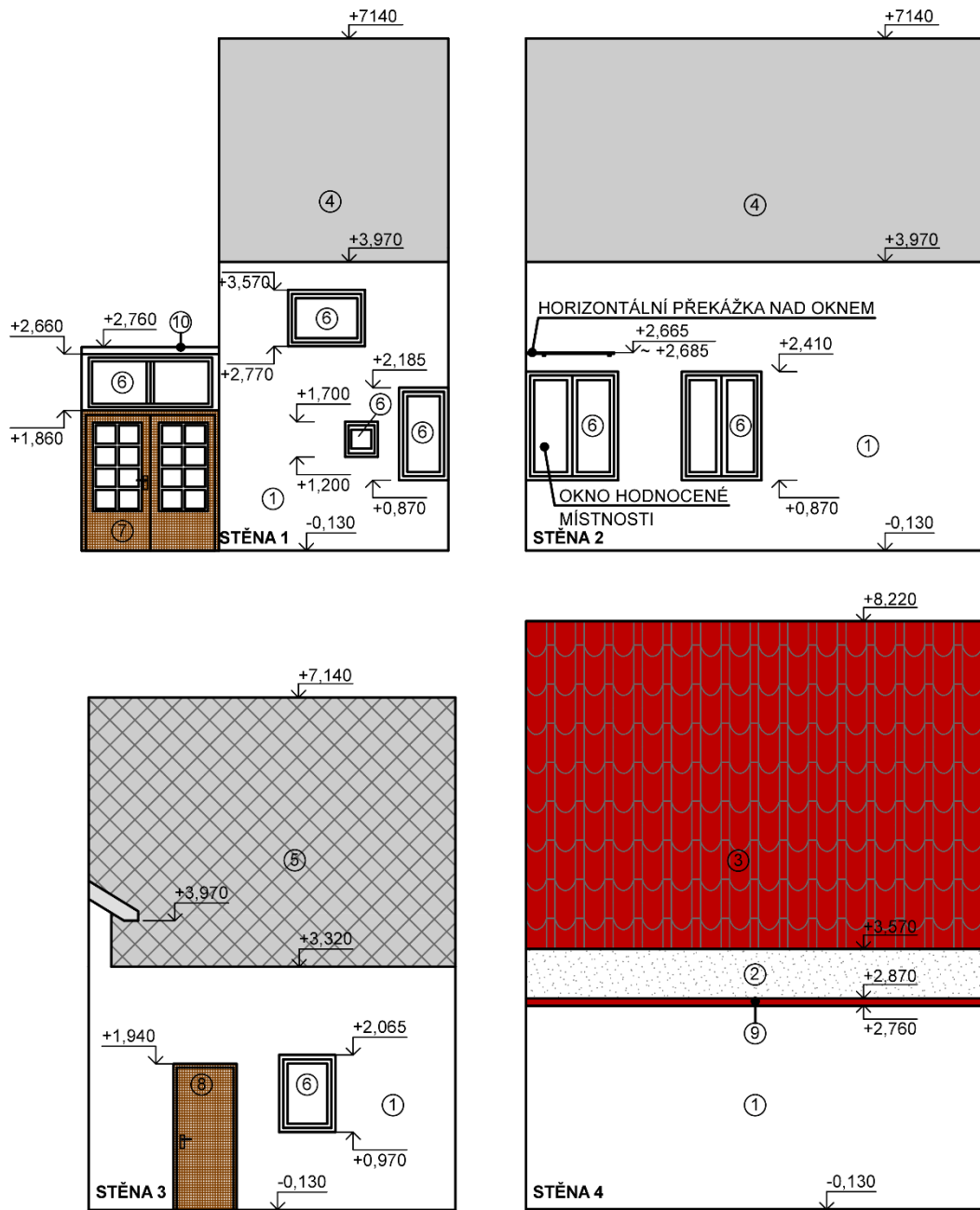
5.5.2 Měření in-situ: Místnost ve Žďáru nad Sázavou

5.5.2.1 Popis hodnocené místnosti a jejího zastínění

Měření denních osvětleností pro stanovení činitele denní osvětlenosti v místnosti rodinného domu ve Žďáru nad Sázavou proběhla dne 15. 3. 2015 (měření 1) a 18. 12. 2015 (měření 2). Dispozice a umístění místnosti jsou včetně rozměrů a zařízení místnosti zřejmé z obr. 5.5.2 – obr. 5.5.5. Schémata na obr. 5.5.2 – obr. 5.5.5 obsahují svojí podrobností údaje potřebné pro ověření přesnosti výpočtů činitele denní osvětlenosti. Ve schématech proto nejsou zakresleny například okapy, neboť jejich nezahrnutí do výpočetního modelu je marginální z hlediska hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených výpočtem pomocí světelných simulací.

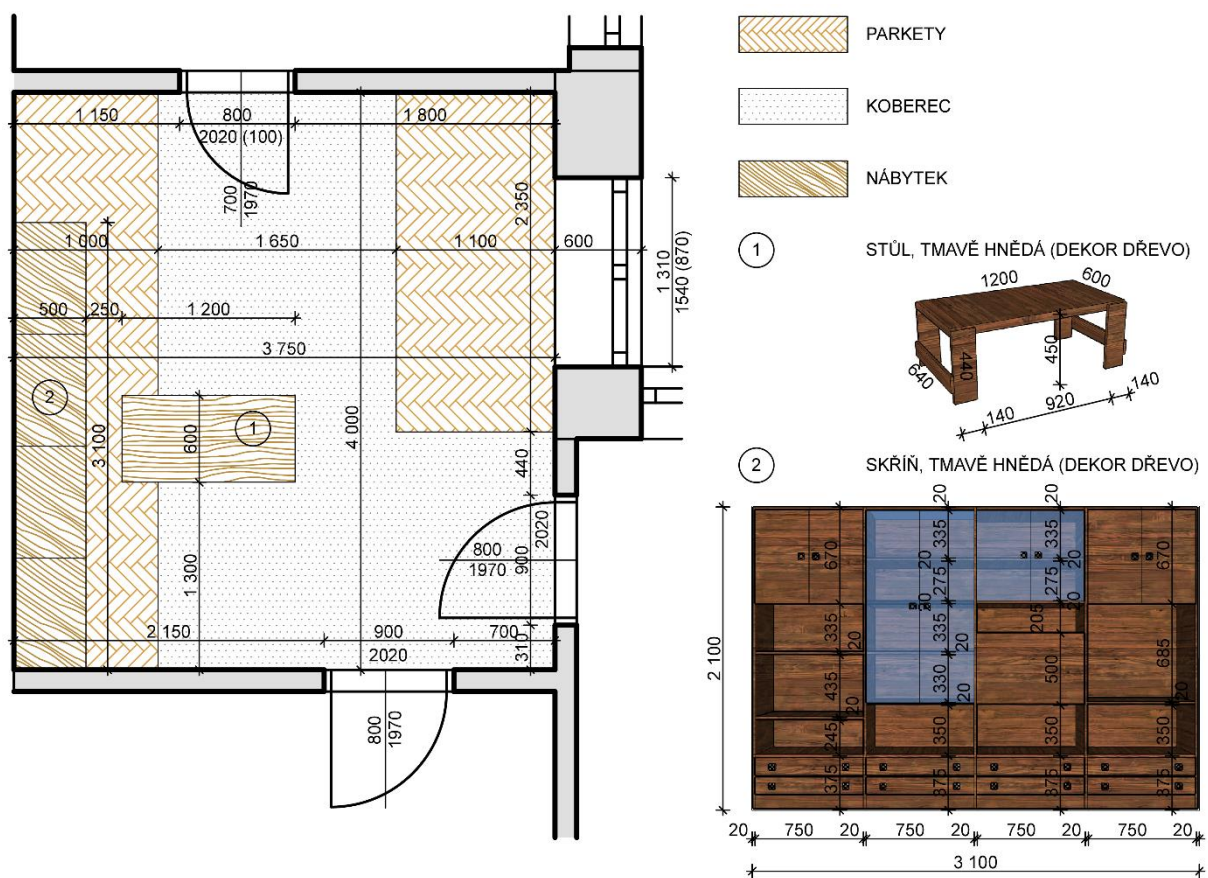
Hodnocená místnost má šířku 4,00 m, hloubku 3,75 m a světlou výšku 2,75 m. Stěny místnosti mají jednotný světle žlutý odstín, strop místnosti je bílý. Všechny dveře vedoucí do místnosti jsou plné bez prosklených ploch a barva všech dveří je ve shodném odstínu světle žluté barvy. Náslapnou vrstvu podlahy tvoří parkety a hnědý koberec. V době měření se v místnosti nacházela také skříň a stůl v totožném dekoru tmavého dřeva. Světelně technické vlastnosti jednotlivých vnitřních povrchů jsou blíže specifikovány v kapitole 5.5.2.1.1.

Denní osvětlení místnosti zajišťuje okno šířky 1,31 m a výšky 1,54 m, které je zaskleno tepelně izolačním dvojsklem (světelně technické parametry okna jsou blíže uvedeny v kapitole 5.5.2.1.1.2). Okno místnosti směřuje do dvora domu, jak je patrné z obr. 5.5.2 – obr. 5.5.5. Dvůr má rozměry 6,50 m × 5,20 m. Jednotlivé vnější povrchy jsou specifikovány na obr. 5.5.6, obr. 5.5.5 a v kapitole 5.5.2.1.1. Pro účely zpracování dizertační práce bylo okno



- | | | | |
|---|--|---|---|
| ① | VENKOVNÍ STĚNY - BILÁ (OMÍTKA, NÁTĚR) | ⑥ | PLASTOVÉ OKNO, TEPelnĚ IZOLAČNÍ DVOJSKLO (ČIRÉ), RÁM BILÝ |
| ② | STĚNA SOUSED - TMAVĚ ŠEDÁ (ŠKVÁROBETONOVÉ TVÁRNICE BEZ OMÍTKY) | ⑦ | DVEŘE 1 - TMAVĚ HNĚDÁ (DŘEVO), ČIRÉ JEDNODUCHÉ SKLO |
| ③ | STŘECHA 1 - CIHLOVĚ ČERVENÁ | ⑧ | DVEŘE 2 - TMAVĚ HNĚDÁ (DŘEVO), PLNÉ DVEŘE BEZ ZASKLENÍ |
| ④ | STŘECHA 2 - SVĚTLĚ ŠEDÁ (PLECH, NÁTĚR) | ⑨ | ZASTŘEŠENÍ - CIHLOVĚ ČERVENÁ |
| ⑤ | STŘECHA 3 - TMAVĚ ŠEDÁ (ETERNIT) | ⑩ | PLOCHÁ STŘECHA - ŠEDÁ (NÁTĚR) |

Obr. 5.5.3: Schéma pohledů na stěny dvora pro sestavení výpočetního modelu, značení stěn dle obr. 5.5.2 (autor)



Obr. 5.5.4: Schéma půdorysu (včetně zařízení) hodnocené místnosti ve Žďáru nad Sázavou (autor)

5.5.2.1.1 Světelně technické parametry vnitřních a vnějších povrchů konstrukcí

Měření pro stanovení světelně technických parametrů vnitřních a vnějších povrchů byla provedena autorkou dizertační práce a spolupracovníkem při zatažené obloze zhruba v době od 10:45 do 14:00 pro měření 1 ve dnech 14. 3. 2015 a 15. 3. 2015 a pro měření 2 ve dnech 12. 12. 2015 a 18. 12. 2015. Dne 15. 3. 2015 (měření 1) a 18. 12. 2015 (měření 2) probíhala měření pro stanovení světelně technických vlastností povrchů mimo dobu měření osvětleností a jasů pro stanovení činitele denní osvětlenosti. Pro měření jasů povrchů byly použity bodové jasoměry: Konica Minolta LS 100 (měření dne 14. 3. 2015 a 15. 3. 2015) a Gossen Mavo-Spot 2 (měření dne 12. 12. 2015 a 18. 12. 2015).

5.5.2.1.1.1 Světelně technické vlastnosti netransparentních povrchů

Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních a vnějších povrchů byly stanoveny dle vzorce (5.5.1) a dle metodiky popsané v kapitole 5.5.1.3. Pro jednotlivé povrchy byly hodnoty činitele odrazu světla vypočteny z jasů změřených bodovým jasoměrem v 10 různých bodech (viz příloha 12.4.3). Pro vnitřní a vnější povrchy jsou v tab. 5.5.1 uvedeny výsledné hodnoty činitele odrazu světla. Označení vnitřních a vnějších povrchů uvedená v tab. 5.5.1 odpovídají označení na obr. 5.5.2 – obr. 5.5.4 a obr. 5.5.5. Hodnoty jasů uvnitř místnosti byly měřeny bez zastínění okna horizontální překážkou. U povrchů, které nebyly přístupné měření jasů, byla hodnota

činitele odrazu světla stanovená odborným odhadem za využití tabulky A.4 normy ČSN 73 0580-1 [7].

Tab. 5.5.1: Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních a vnějších netransparentních povrchů pro měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor)

popis povrchu		měření 1		měření 2	
		činitel odrazu světla		činitel odrazu světla	
označení	barva	změřená hodnota ρ_b [-]	hodnota pro výpočet $\rho_{b, SW}$ [-]	změřená hodnota ρ_b [-]	hodnota pro výpočet $\rho_{b, SW}$ [-]
interiér					
stěna vnitřní	světle žlutá	0,69 ± 0,01	0,69	0,68 ± 0,01	0,68
vnitřní dveře	světle žlutá	0,66 ± 0,02	0,66	0,64 ± 0,01	0,64
strop	bílá	0,83 ± 0,01	0,83	0,84 ± 0,01	0,84
podlaha – koberec	tmavě hnědá	0,09 ± 0,01	0,09	0,10 ± 0,01	0,10
podlaha – parkety	hnědá	0,24 ± 0,01	0,24	0,24 ± 0,01	0,24
nábytek (stůl, skříň)	tmavě hnědá (dekor dřevo)	0,13 ± 0,01	0,13	0,13 ± 0,01	0,13
rám okna (vnitřní strana)	bílá	0,80 ± 0,01	0,80	0,80 ± 0,02	0,80
parapet okna	bílošedá (dekor mramor)	0,71 ± 0,02	0,71	0,72 ± 0,01	0,72
ostění a nadpraží okna	bílá	0,78 ± 0,02	0,78	0,79 ± 0,01	0,79
exteriér					
venkovní stěny	bílá	0,74 ± 0,01	0,74	0,72 ± 0,01	
stěna souseď	tmavě šedá (neomítnuté škvárobetonové tvárnice)	-	0,15 ¹⁾	-	0,15 ¹⁾
rám okna (venkovní strana)	bílá	0,78 ± 0,01	0,78	0,77 ± 0,01	0,77
střecha 1	cihlově červená (pálená střešní taška)	0,21 ± 0,01	0,21	0,21 ± 0,01	0,21
střecha 2	šedá (plech – nátěr)	-	0,40 ¹⁾	-	0,40 ¹⁾
střecha 3	šedá (eternit)	-	0,15 ¹⁾	-	0,15 ¹⁾
zastřešení	cihlově červená (betonová střešní taška)	0,18 ± 0,01	0,18	0,18 ± 0,01	0,18
plochá střecha	šedá (nátěr)	0,31 ± 0,01	0,31	0,31 ± 0,01	0,31
terén – dvůr	zelená, šedá (trávník, zemina, dlažba)	-	0,10 ²⁾	-	0,10 ²⁾
dveře 1	tmavě hnědá (dřevo)	0,12 ± 0,01	0,12	0,13 ± 0,01	0,13
dveře 2	tmavě hnědá (dřevo)	0,14 ± 0,01	0,14	0,12 ± 0,01	0,12
horizontální překážka nad oknem	světle šedá (polystyrenová deska)	0,44 ± 0,01	0,44	0,42 ± 0,01	0,42
Vysvětlivky:					
1) Hodnota činitele odrazu světla byla stanovena odborným odhadem z důvodu nepřístupnosti povrchu pro měření dostupnými prostředky.					
2) Hodnota činitele odrazu světla byla stanovena odborným odhadem, neboť se jedná o nehomogenní povrch, o jehož činiteli odrazu světla rozhoduje i jeho struktura. Z tohoto důvodu byla pro činitel odrazu světla převzata hodnota z čl. A.20 písm. a) normy ČSN 73 0580-1 [7].					

5.5.2.1.1.2 Světelně technické vlastnosti okna

Denní osvětlení hodnocené místnosti je zajištěno dvoukřídlym oknem s tepelně izolačním dvojsklem. Okno je široké 1,31 m a vysoké 1,54 m. Prosklená část obou křídel okna má šířku 0,465 m a výšku 1,310 m. Hodnota činitele prostupu světla stíněním konstrukcí osvětlovacího otvoru nepropouštějící světlo τ_k [-] (tj. podíl prosklené plochy okna vůči celkové ploše okna)

tedy činí 0,60. Vnitřní i vnější rám okna je bílý. Činitel prostupu světla zasklením byl včetně započtení činitele znečištění stanoven dle postupu uvedeného v kapitole 5.5.1.3.3. Z naměřených hodnot jasů byla v příloze 12.4.3 vypočtena hodnota činitele prostupu světla $\tau_{s,z}$ se zahrnutou korekcí celkového činitele znečištění:

- měření 1 (15. 3. 2015): $\tau_{s,z} = (0,75 \pm 0,01)$, hodnota pro světelnou simulaci $\tau_{s,z, SW} = 0,75$;
- měření 2 (18. 12. 2015): $\tau_{s,z} = (0,74 \pm 0,01)$, hodnota pro světelnou simulaci $\tau_{s,z, SW} = 0,74$.

Hodnoty činitele prostupu světla dalších oken nacházejících se ve dvorních fasádách jsou pro účely světlených simulací uvažovány shodně jako u okna hodnocené místnosti. V době měření nebylo u dalších oken na dvůr prováděno měření konkrétních hodnot činitele prostupu světla, neboť se jedná o typově totožná okna s tepelně izolačním dvojsklem a v průběhu měření nebylo možné u těchto oken měřit jas pozadí při otevřeném a zavřeném okně. Zasklení všech oken do dvora bylo bezprostředně před měřením očištěno z vnitřní i vnější strany.

5.5.2.1.1.3 Světelně technické vlastnosti jednoduchého zasklení

Skříň v hodnocené místnosti a venkovní dveře 1 byly v době měření 1 i měření 2 zaskleny jednoduchým čirým sklem. Činitel prostupu světla jednoduchého čirého skla byl pro měření 2 stanoven pomocí přístroje Pocket Detective 2.1 – viz příloha 12.4.3. Zjištěné hodnoty činitele prostupu světla jsou uvedeny v tab. 5.5.2. Přístroj Pocket Detective 2.1 byl zakoupen v průběhu roku 2015 a pro měření 1 nebylo možné tento přístroj ještě použít. V době od 15. 3. 2015 (uskutečnění měření 1) do 18. 12. 2015 (uskutečnění měření 2) nebyly měněny světelně technické parametry zasklení dveří 1 a skříně (před měřením 1 i měřením 2 byla obě zasklení z vnitřní i vnější strany očištěna). Pro světelné simulace v rámci měření 1 je proto použita shodná hodnota činitele prostupu světla zasklení skříně a dveří 1 jako u měření 2.

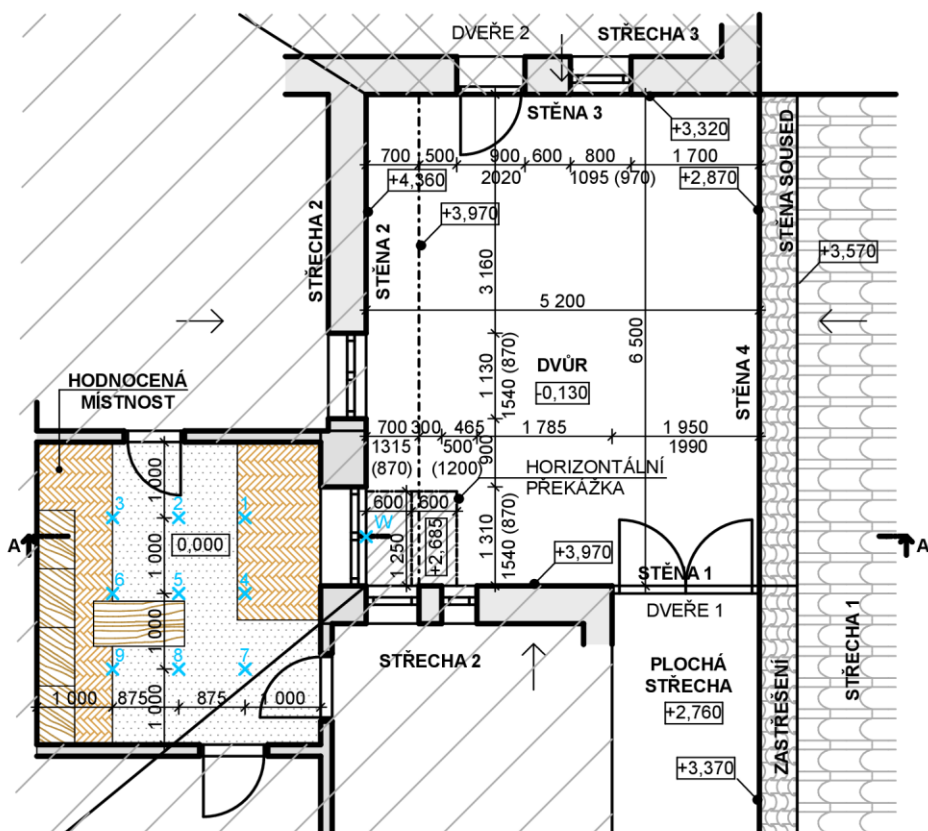
Tab. 5.5.2: Hodnoty činitele prostupu světla zasklením jednoduchým čirým sklem pro měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor)

popis	měření 1		měření 2	
	činitel prostupu světla		činitel prostupu světla	
	změřená hodnota $\tau_{s,z}$ [-]	hodnota pro výpočet $\tau_{s,z, SW}$ [-]	změřená hodnota $\tau_{s,z}$ [-]	hodnota pro výpočet $\tau_{s,z, SW}$ [-]
zasklení skříně	-	0,86	$0,855 \pm 0,003$	0,86
zasklení dveří 1	-	0,85	$0,854 \pm 0,003$	0,85

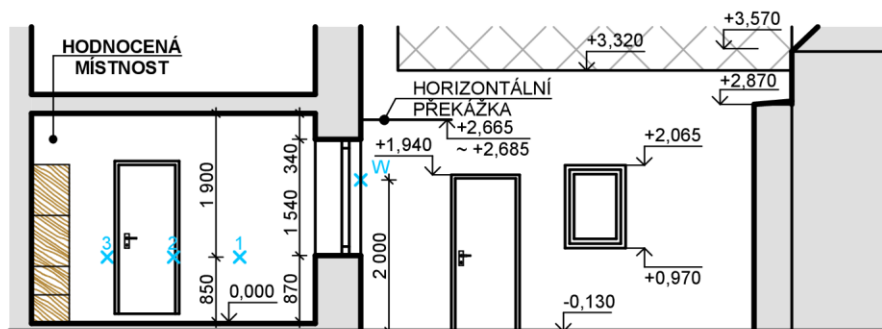
5.5.2.2 Měření denních osvětleností a jasů pro stanovení činitele denní osvětlenosti

Měření denních osvětleností a jasů pro stanovení činitele denní osvětlenosti bylo provedeno dne 15. 3. 2015 a 18. 12. 2015 autorkou dizertační práce společně se dvěma spolupracovníky. Měření jasů oblohy a denních osvětleností venkovní horizontální nezastíněné roviny byla zajištěna autorkou dizertační práce, spolupracovníci prováděli měření osvětleností v místnosti a úpravu délky vodorovné stínící překážky nad oknem. Vzájemná koordinace měření a simultánní odečet osvětleností v hodnocené místnosti a na venkovní nezastíněné rovině byly zajištěny pomocí telefonického spojení.

PŮDORYS



ŘEZ A-A



Obr. 5.5.5: Schéma umístění hodnocených bodů v místnosti ve Žďáru nad Sázavou (autor)

Měření denních osvětleností bylo provedeno pro 2 varianty zastínění okna hodnocené místnosti:

- **varianta 1:** okno místnosti není stíněno vodorovnou stínicí konstrukcí nad oknem;
- **varianta 2:** okno místnosti je stíněno vodorovnou stínicí konstrukcí nad oknem s délkou vyložení 1,20 m.

Z časových důvodů (umístění vodorovné stínicí konstrukce nad okno) bylo nejdříve provedeno měření pro variantu 2, následovalo měření varianty 1.

Hodnoty denních osvětleností byly měřeny simultánně v interiéru hodnocené místnosti čtyřmi čidly Ahlborn FLA 623VL a v exteriéru na horizontální nezastíněné rovině jedním čidlem Ahlborn FLA 623 VL. V hodnocené místnosti i v exteriéru byla čidla pro měření denních

osvětleností v horizontální rovině umístěna na stativech dle zásad uvedených v kapitole 5.5.1.2. V rámci měření byly stanoveny hodnoty denních osvětleností:

- 1) v horizontální rovině v bodech č. 1 až 9 uvnitř místnosti ve výšce 0,85 m nad podlahou místnosti (viz obr. 5.5.5);
- 2) ve vertikální rovině fasády v bodě W ve výšce 2,00 m nad terénem (viz obr. 5.5.5).

Z důvodu celkového počtu dostupných čidel Ahlborn FLA 623 VL pro měření denních osvětleností nebylo možné změřit osvětlenosti ve všech deseti hodnocených bodech současně. Z tohoto důvodu pro každou variantu zastínění probíhalo měření denních osvětleností postupně v **řadách A až D**: A) body č. 1 – 3, B) body č. 4 – 6, C) body č. 7 – 9, D) bod W. Přehled čidel použitých při měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou je uveden v tab. 5.5.3 Rozmístění jedné řady čidel v místnosti je vyfotografováno na obr. 5.5.7.

Tab. 5.5.3: Přehled čidel použitých pro měření denních osvětleností in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor)

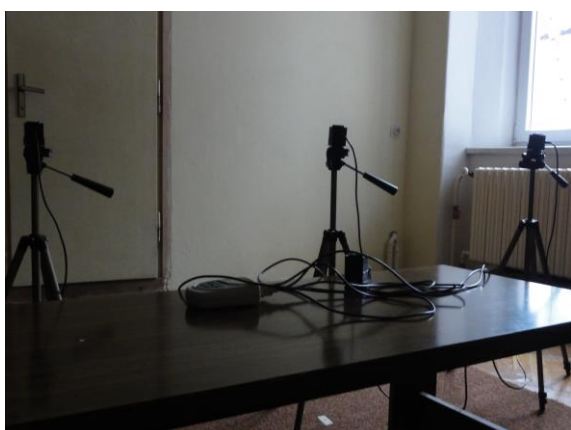
výrobní číslo čidla Ahlborn FLA 623 VL	použití čidla
13050699	měření denních osvětleností v bodech 1, 4, 7
13050698	měření denních osvětleností v bodech 2, 5, 8
13050697	měření denních osvětleností v bodech 3, 6, 9
13050696	měření denních osvětleností v bodě W
14101287	měření denních osvětleností vodorovné roviny v exteriéru

Měření jasů oblohy bylo provedeno pomocí bodových jasoměrů Konica Minolta LS 100 (měření dne 15. 3. 2015) a Gossen Mavo-Spot 2 (měření dne 18. 12. 2015). Jasy oblohy v úhlech 15°, 45° a 90° byly stanoveny ve 3 rovinách (viz obr. 5.5.6) pro každou variantu zastínění okna před zahájením a po ukončení měření osvětleností. Pokud nebyly z hlediska jasů oblohy splněna kritéria platnosti měření jasů (viz kapitola 5.4.4.2) před zahájením měření, bylo měření přerušeno a měření jasů se po přestávce opakovalo. Měření osvětleností následně pokračovalo až při splnění kritérií platnosti měření jasů. Pokud nebyla splněna kritéria platnosti měření jasů po ukončení měření osvětleností pro hodnocenou variantu, nebyly výsledky měření osvětleností pro danou variantu považovány za platné. Měření osvětleností pro danou variantu se v takovém případě opakovalo ve chvíli, kdy byla splněna kritéria platnosti měření jasů. V průběhu měření denních osvětleností byla kontrola rovnoměrnosti zatažení oblohy prováděna také vizuálně v místě měření osvětlenosti venkovní nezastíněné horizontální roviny. Pro každou variantu zastínění místnosti bylo v jednom měřícím dnu provedeno jedno platné měření denních osvětleností.

Změřené jasy oblohy a denních osvětleností jsou uvedeny v příloze 12.5.2, kde je také vyhodnocena platnost měření jasů na základě metodiky popsané v kapitole 5.4.4.2. Pro jednotlivé měřící dny jsou v příloze 12.5.2 uvedeny i harmonogramy měření jasů oblohy a denních osvětleností.



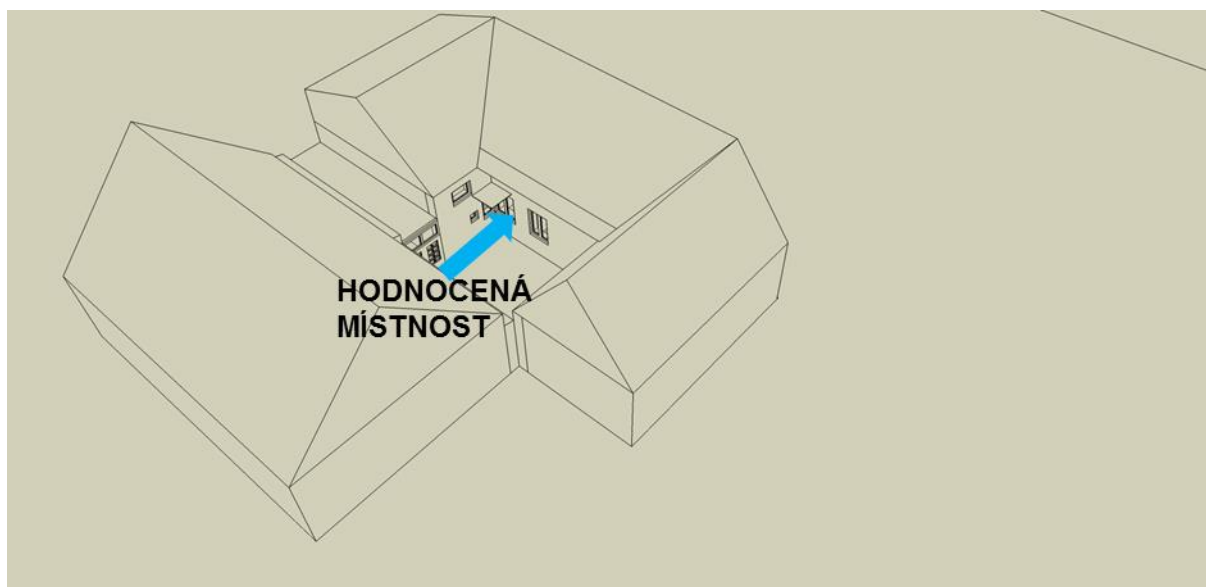
Obr. 5.5.6: Vyznačení umístění hodnocené místnosti a místa měření venkovních denních osvětleností E_H a jasů oblohy při měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor s využitím [135])



Obr. 5.5.7: Měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou, rozmístění jedné řady luxmetrů v místnosti (vlevo) a umístění horizontální překážky délky 1,20 m nad oknem místnosti (vpravo) (autor)

5.5.2.3 Stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti výpočtem v programu Daysim

Výpočtem v programu Daysim s parametry dle tab. 5.1.1 byly stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti pomocí simulací denního osvětlení pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16. Vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8. Světelně technické vlastnosti povrchů modelu byly uvažovány dle kapitoly 5.5.2.1.1, přičemž světlonepropustné povrchy byly vymodelovány jako difúzní. Pro simulace v programu Daysim je dále nutné povrchy modelu zadat jako spektrálně neutrální ([107] str. 48). Terén mimo oblast dvora byl pro světelné simulace v programu Daysim uvažován s činitelem odrazu světla 0,10 (tj. trávník nebo živičný povrch dle čl. A.20 a tabulky A.4 normy ČSN 73 0580-[7]). Pro výpočet v programu Daysim byla hodnocená situace vymodelována v programu SketchUp [140] (viz obr. 5.5.8) a export geometrie do programu Daysim byl proveden pomocí doplňku programu SU2DS [142].



Obr. 5.5.8 Model pro světelné simulace v programu Daysim – měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou – varianta zastínění 2 (autor)

5.5.2.4 Výsledky měření in-situ a simulací denního osvětlení

Ze změřených hodnot denních osvětleností byly pro platná měření vypočteny pomocí vzorce (2.5.1) referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{i, ref, j}$ (viz tab. 5.5.4), kde i je označení hodnoceného bodu a j je označení měření. Zároveň jsou v tab. 5.5.4 uvedeny hodnoty činitele denní osvětlenosti, které byly pro hodnocené body stanoveny simulací v programu Daysim.

5.5.2.5 Vyhodnocení

Hodnoty činitele denní osvětlenosti zjištěné pomocí výpočtu v programu Daysim byly porovnány s referenčními hodnotami stanovenými na základě měření pomocí hodnotících kritérií (viz tab. 5.5.4): rozdíl $\Delta D_{i, sw, j}$ vypočtené a referenční hodnoty, relativní chyba $\Delta d_{i, sw, j}$ vypočtené hodnoty oproti hodnotě referenční, kritéria $rMBE$, $rRMSE$. V tab. 5.5.4 je pro body 1 až 9 v horizontální rovině zvýrazněna minimální a maximální absolutní hodnota kritérií $\Delta D_{i, sw, j}$ a $\Delta d_{i, sw, j}$. Hodnotící kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ jsou stanovena samostatně pro horizontální a vertikální rovinu, přičemž jsou tato kritéria určena vždy na základě obou provedených platných měření. Pro vertikální rovinu byla kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ stanovena pouze orientačně, protože byla vypočtena pouze ze dvou změřených hodnot v bodě W.

Tab. 5.5.4: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením in-situ ve Žďáru nad Sázavou a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria (autor)

Varianta 1: Okno hodnocené místnosti není stíněno vodorovnou stínicí konstrukcí nad oknem													
datum měření 1 / 2			15. 3. 2015 / 18. 12. 2015										
hodnocený bod <i>i</i>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	W	
měření 1	$D_{i,ref,1}$	[%]	1,39	0,50	0,25	1,42	0,42	0,19	0,26	0,30	0,15	15,64	
měření 2	$D_{i,ref,2}$	[%]	1,36	0,46	0,23	1,38	0,38	0,19	0,23	0,29	0,15	15,18	
Daysim	$D_{i,SW,1}$	[%]	1,45	0,54	0,27	1,50	0,42	0,22	0,27	0,35	0,15	16,59	
	$D_{i,SW,2}$	[%]	1,41	0,42	0,27	1,47	0,40	0,21	0,25	0,30	0,17	16,10	
	$\Delta D_{i,SW,1}$	[p. b.]	0,06	0,04	0,02	0,08	0,00	0,03	0,01	0,05	0,00	0,95	
	$\Delta d_{i,SW,1}$	[%]	4,32	8,00	8,00	5,63	0,00	15,79	3,85	16,67	0,00	6,07	
	$\Delta D_{i,SW,2}$	[%]	0,05	-0,04	0,04	0,09	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,92	
	$\Delta d_{i,SW,2}$	[p. b.]	3,68	-8,70	17,39	6,52	5,26	10,53	8,70	3,45	13,33	6,06	
	$rMBE$	[%]	6,80										6,07
	$rRMSE$	[%]	9,30										6,07
Varianta 2: Okno hodnocené místnosti je stíněno vodorovnou stínicí konstrukcí nad oknem s délkou vyložení 1,20 m													
datum měření 1 / 2			15. 3. 2015 / 18. 12. 2015										
hodnocený bod <i>i</i>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	W	
měření 1	$D_{i,ref,1}$	[%]	0,70	0,35	0,18	0,74	0,26	0,15	0,22	0,25	0,12	11,47	
měření 2	$D_{i,ref,2}$	[%]	0,64	0,30	0,19	0,69	0,26	0,14	0,17	0,21	0,10	10,81	
Daysim	$D_{i,SW,1}$	[%]	0,72	0,36	0,22	0,78	0,31	0,18	0,22	0,22	0,12	12,18	
	$D_{i,SW,2}$	[%]	0,70	0,33	0,20	0,75	0,28	0,17	0,19	0,20	0,12	11,79	
	$\Delta D_{i,SW,1}$	[p. b.]	0,02	0,01	0,04	0,04	0,05	0,03	0,00	-0,03	0,00	0,71	
	$\Delta d_{i,SW,1}$	[%]	2,86	2,86	22,22	5,41	19,23	20,00	0,00	-12,00	0,00	6,19	
	$\Delta D_{i,SW,2}$	[%]	0,06	0,03	0,01	0,06	0,02	0,03	0,02	-0,01	0,02	0,98	
	$\Delta d_{i,SW,2}$	[p. b.]	9,37	10,00	5,26	8,70	7,69	21,43	11,76	-4,76	20,00	9,07	
	$rMBE$	[%]	8,34										7,63
	$rRMSE$	[%]	12,53										7,76
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,SW,j}$ a $\Delta d_{i,SW,j}$ v bodech 1 až 9 pro dané měření. Označení bodů dle obr. 5.5.5. Označení variant dle kapitoly 5.5.2.2.													

Ve variantě 1 bylo okno místnosti stíněno pouze vnitroblokem bez horizontální překážky nad oknem. Ve většině bodů horizontální roviny byla výpočtem stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti vyšší než dle měření. U bodů v horizontální rovině byly pro variantu 1 zjištěny relativní chyby $\Delta d_{i,SW,j}$ vypočtených hodnot od hodnot změřených od 0,00 % (bod 5, 9) do 16,67 % (bod 8) pro měření 1 a v rozmezí -8,70 % (bod 2) až 17,39 % (bod 3) pro měření 2. V hodnocené místnosti se v bodech ve větší vzdálenosti od okna (tj. body 3, 6, 7, 8 a 9) pohybují změřené hodnoty činitele denní osvětlenosti od 0,15 % (bod 9 – měření 1 i 2) do 0,30 % včetně (bod 8 – měření 1). Při takto nízkých hodnotách činitele denní osvětlenosti znamená rozdíl změřené a vypočtené hodnoty v řádu setin procentních bodů vyšší relativní chybu $\Delta d_{i,SW,j}$. Například pro bod 6 v měření 1 rozdíl vypočtené a změřené hodnoty $\Delta D_{i,SW,j}$ činí 0,03 p. b., což pro hodnotu 0,19 % stanovenou měřením představuje relativní chybu $\Delta d_{i,SW,j} = 15,79$ % . V bodech 1, 2, 4 a 5 s hodnotami činitele denní osvětlenosti vyššími než 0,30 % jsou absolutní hodnoty relativní chyby vypočtené hodnoty nižší než 10,00 %. Z hlediska kritéria $rMBE$ jsou vypočtené hodnoty v horizontální rovině v průměru vyšší o 6,80 % než hodnoty změřené. Dle kritéria $rRMSE$ se v horizontální rovině vypočtené hodnoty liší od změřených o 9,30 % .

Hodnota činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině byla stanovena v bodě W, kde se činitel denní osvětlenosti rovná 15,64 % pro měření 1 a 15,18 % pro měření 2. V programu Daysim byly vypočteny hodnoty činitele denní osvětlenosti 16,59 % pro měření 1 a 16,10 % pro měření 2. Světelnou simulací vypočtená hodnota je tedy z hlediska relativní chyby vyšší zhruba o 6 % než hodnota stanovená v obou měřeních.

Zatímco ve variantě 1 okno hodnocené místnosti nebylo stíněno horizontální konstrukcí nad oknem, ve variantě 2 se nad oknem místnosti nacházela horizontální konstrukce s délkou vyložení 1,20 m. Relativní chyba $\Delta d_{i,sw,j}$ nabývá hodnot -12,00 % (bod 8) až 22,22 % (bod 3) pro měření 1 a -4,76 % (bod 8) až 21,43 % (bod 6) pro měření 2. S výjimkou bodu 8 v obou měřeních jsou zbývající hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřeními nižší než vypočtené hodnoty. Obdobně jako u předcházejících variant byly relativní chyby $\Delta d_{i,sw,j}$ vyšší než 15,00 % zjištěny u bodů s hodnotami činitele denní osvětlenosti do 0,30 % včetně. U bodů s hodnotami činitele denní osvětlenosti vyššími než 0,30 % (tj. pro tuto variantu body 1, 2 a 4) se relativní chyby $\Delta d_{i,sw,j}$ pohybují v rozmezí od 2,86 % (bod 1, 2 – měření 1) až 10,00 % (bod 2 – měření 2). Vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti se liší od změřených o 8,34 % dle kritéria *rMBE* a o 12,53 % dle kritéria *rRMSE*.

Ve vertikální rovině byl v bodě W pro variantu 2 stanoven činitel denní osvětlenosti 11,47 % pro měření 1 a 10,81 % pro měření 2. Světelnou simulací v programu Daysim byl vypočten činitel denní osvětlenosti 12,18 % pro měření 1 a 11,79 % pro měření 2. Hodnota činitele denní osvětlenosti určená světelnou simulací je tak z hlediska relativní chyby vyšší o 6,19 % než hodnota zjištěná měření 1 a o 9,07 % než hodnota zjištěná měření 2.

Měření denních osvětleností in-situ ve Žďáru nad Sázavou probíhalo při denních osvětlenostech venkovní nezastíněné roviny 13501 lx až 14228 lx pro měření 1 a 5215 lx až 5993 lx pro měření 2 (viz příloha 12.5.2). Při těchto hodnotách denních osvětleností znamená u bodů s nízkými hodnotami činitele denní osvětlenosti posun změřené hodnoty osvětlenosti v řádech jednotek luxů změnu hodnoty činitele denní osvětlenosti o setiny procent. Například v bodě 6 byl pro variantu 2 na základě měření 2 stanoven činitel denní osvětlenosti 0,14 %, který odpovídá změřené denní osvětlenosti v tomto bodě 8 lx při horizontální osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny 5765 lx. Světelnou simulací v programu Daysim byla pro měření 2 v bodě 6 stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti 0,17 %, která by při osvětlenosti venkovní nezastíněné roviny 5765 lx odpovídala denní osvětlenosti 10 lx v měřeném bodě. Je tedy patrné, že pro provedená měření ve Žďáru nad Sázavou může v případě bodů s nízkými hodnotami činitele denní osvětlenosti (tj. zde zejména u bodů s hodnotami činitele denní osvětlenosti do 0,30 % včetně) změna změřené hodnoty v jednotkách luxů velmi ovlivnit výslednou relativní chybu $\Delta d_{i,sw,j}$. Z hlediska neustálé proměnlivosti denního světla a vnímání denního světla lidským zrakem však lze rozdíly denních osvětleností v řádu jednotek luxů považovat za velmi malé. Také z hlediska hodnocení denního osvětlení dle ČSN 73 0580-1 [7], [8] je možné rozdíly v hodnotách činitele denní osvětlenosti v setinách procentních bodů považovat za malé, protože pro účely hodnocení dle této normy se hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti mají zaokrouhlovat na celé desetiny procent.

V bodě W ve vertikální rovině je maximální relativní chyba vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti od hodnoty změřené 9,07 % (varianta 2 – měření 2). Tato relativní chyba se jeví

jako akceptovatelná i s ohledem na dříve provedené validace programu Radiance pro výpočty atrií. Například J. Du et al. v článku [56] validovali program Radiance pro výpočty hodnot činitele denní osvětlenosti v rovině stěn vnitrobloku, přičemž bylo považováno za přijatelné, že světelnou simulací v programu Radiance byla stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti nižší až o 13,9 % než hodnota zjištěná měřením

Při měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou byla většina měření určených hodnot činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině a všechny měření stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině nižší než hodnoty stanovené výpočtem v programu Daysim. V měření na modelu však byly výpočtem pro vnitroblok i horizontální překážku stanoveny ve všech bodech vertikální roviny hodnoty činitele denní osvětlenosti nižší než hodnoty zjištěné měřením. Světelné simulace v programu Daysim jsou založeny na algoritmu programu Radiance ([107] str. 3). V minulosti byly publikovány články (např. [56]; [86]), ve kterých bylo upozorněno, že zejména u bodů umístěných ve vertikální rovině stěny poblíž rohů atrií s vyššími hodnotami činitele odrazu světla od stěn jsou programem Radiance stanovovány nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti než měřením. Lze se proto domnívat, že ve výpočetním modelu pro místnost s oknem v rohu vnitrobloku u měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou byla mírně nadhodnocena odražená složka činitele denní osvětlenosti. Hodnoty průměrného činitele odrazu světla od světlonepropustných povrchů byly stanoveny pomocí měření bodovým jasoměrem při neustále proměnlivém denním světle nebo odborným odhadem. K nadhodnocení odražené složky činitele denní osvětlenosti tedy mohlo dojít v důsledku diferencí mezi reálnými a pro simulaci použitými světelně technickými parametry povrchů.

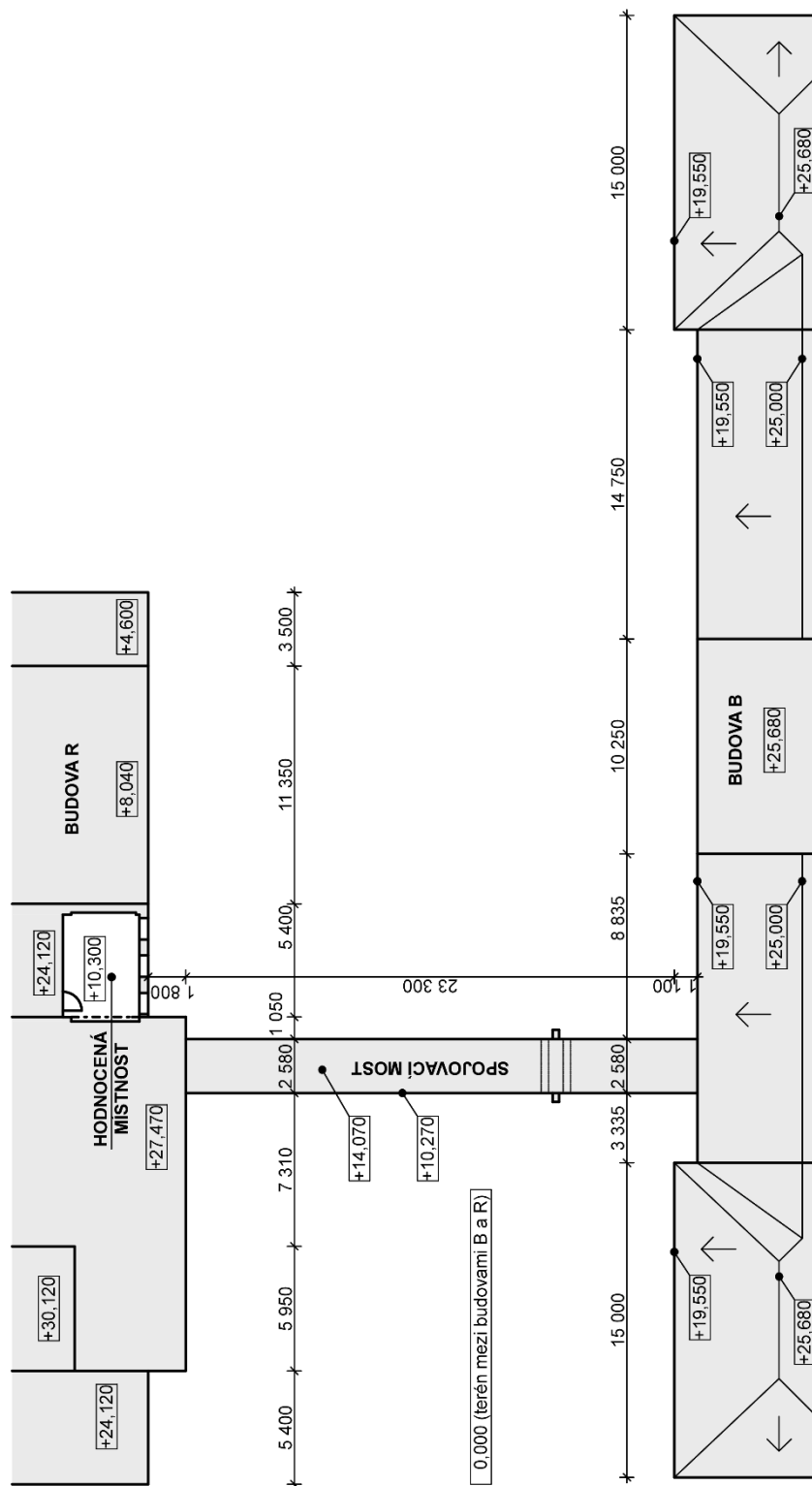
5.5.3 Měření in-situ: Kancelář v Brně

5.5.3.1 Popis hodnocené místnosti a jejího zastínění

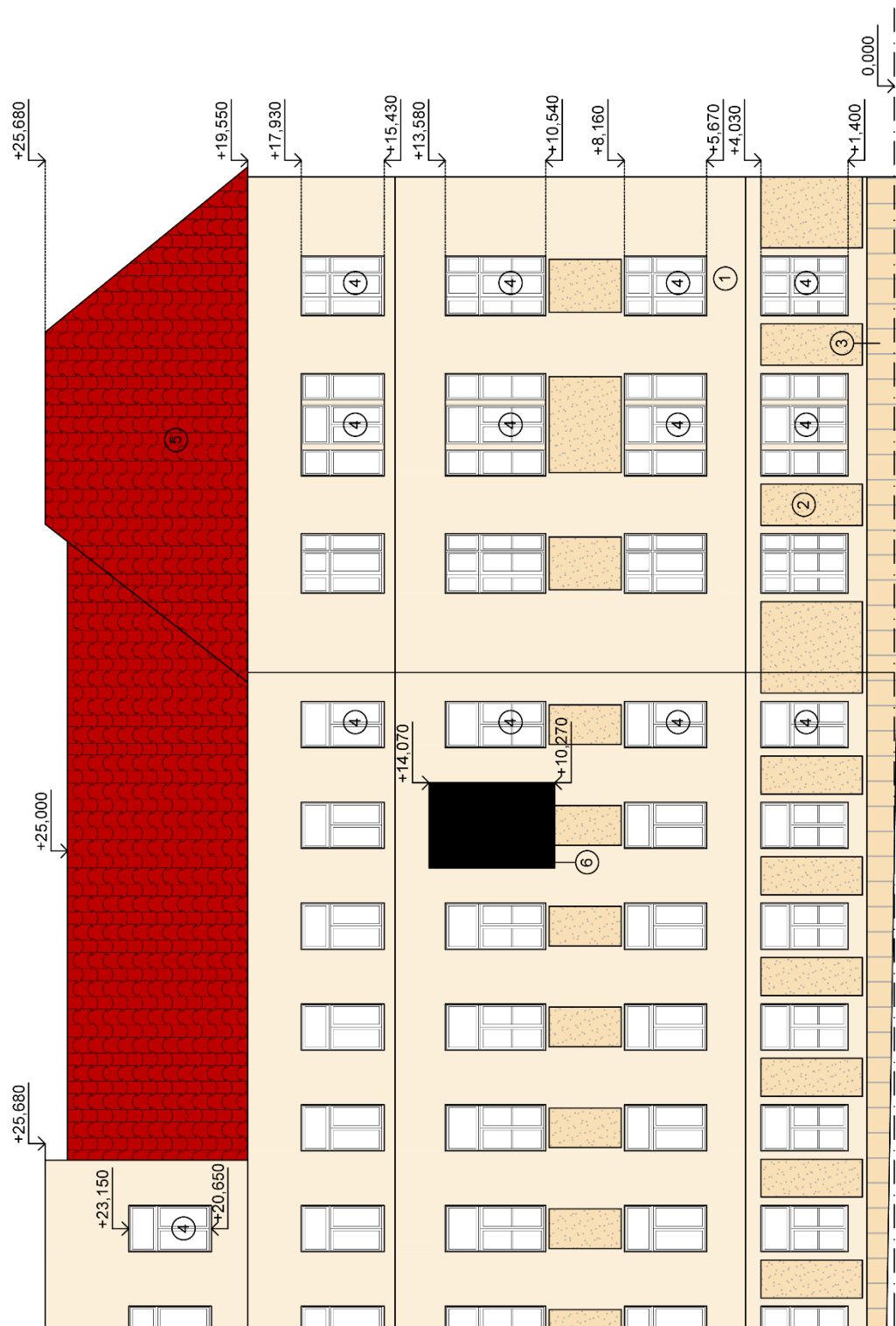
Měření in-situ denních osvětleností pro stanovení činitele denní osvětlenosti v Brně bylo provedeno dne 16. 12. 2015 v kanceláři R418, která se nachází ve 4. nadzemním podlaží budovy Rybkova 1 v Brně (budova R Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně). Okna hodnocené místnosti jsou stíněna naproti stojící budovou B a z boku také proskleným mostem, který spojuje budovu B a budovu R. Umístění hodnocené místnosti a zastíňovací podmínky v místě jsou patrné z obr. 5.5.9 – obr. 5.5.11. Z hlediska podrobnosti schémata na obr. 5.5.9 – obr. 5.5.11 a podle nich sestavené výpočetní modely obsahují objekty, které mohou mít podstatný vliv na hodnoty činitele denní osvětlenosti v hodnocené místnosti při ověření přesnosti programů pro simulaci denního osvětlení. Z tohoto důvodu výpočetní model a schémata pohledů neobsahují například: uliční lampy, stromy před budovou R, které nezastíňují okna hodnocené místnosti, římsy na budově B nebo zábradlí v přízemí budovy R.

Půdorys hodnocené místnosti je zobrazen na obr. 5.5.13. Hodnocená místnost je široká 5,20 m, hluboká 3,65 m a má světlou výšku 2,90 m. Všechny stěny a strop místnosti jsou bílé, dveře do místnosti jsou šedé s proskleným pásem z mléčného skla. Z důvodu zamezení ovlivnění výsledků měření denních osvětleností světlem z chodby byl prosklený pás dveří v době měření přelepen modrou samolepicí fólií s průměrným činitelem odrazu světla $\overline{\rho_E} = 0,20$ – jedná se o totožnou fólii, jako byla použita pro zhotovení etalonu – viz příloha 12.2. Podlaha místnosti je zhotovena z povlakové podlahové krytiny béžové barvy. Při měření se v místnosti nacházel stůl

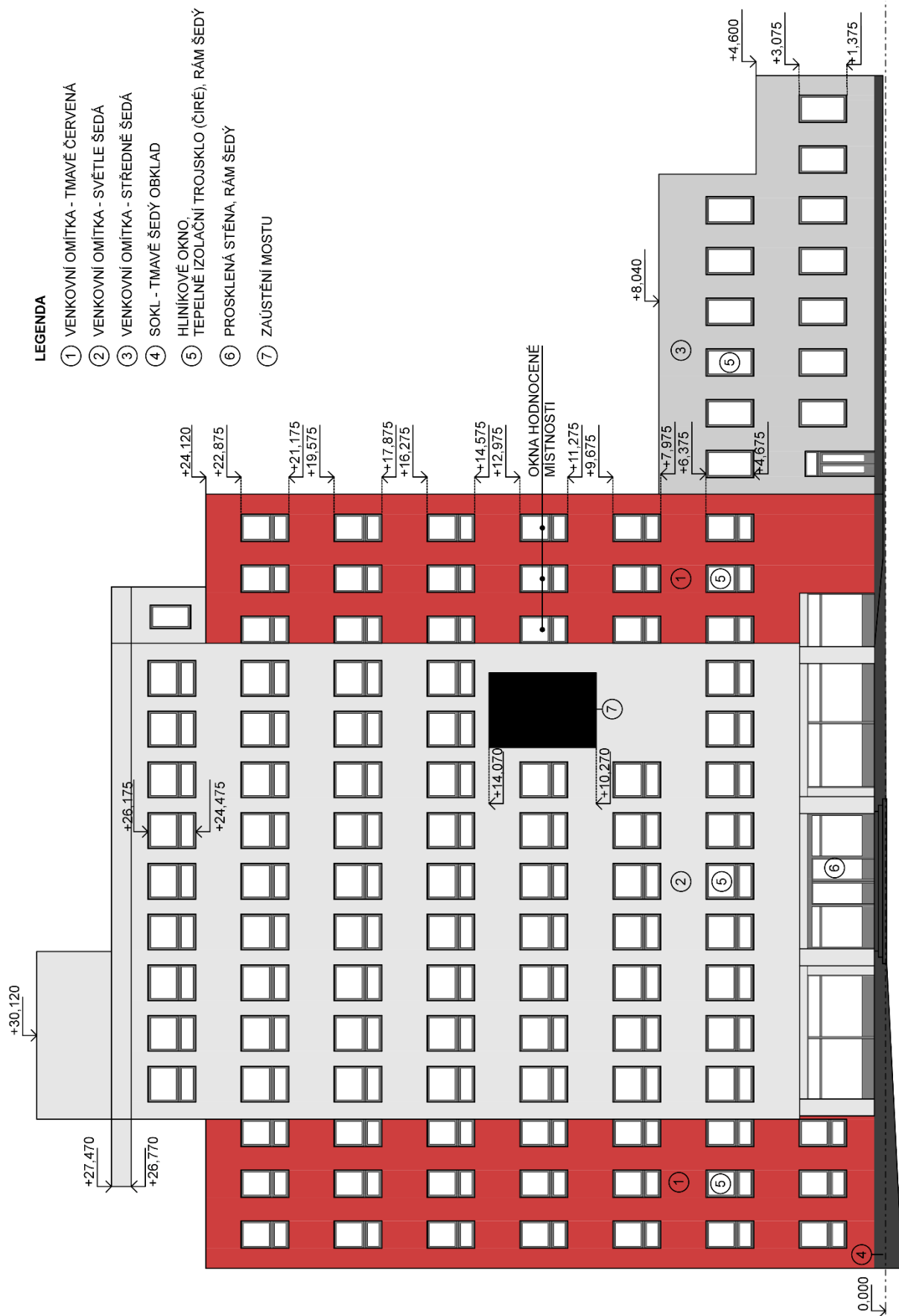
a nízké skříně ve shodném dekoru světlého dřeva. Na stěně naproti oknům byla umístěna bílá tabule. Denní osvětlení místnosti je zajištěno třemi okny, které mají šířku 1,02 m a výšku 1,70 m. Rám oken a parapet jsou šedé. Hodnoty činitelů odrazu světla materiálů, které tvoří vnitřní povrchy místnosti, jsou uvedeny v tab. 5.5.5.



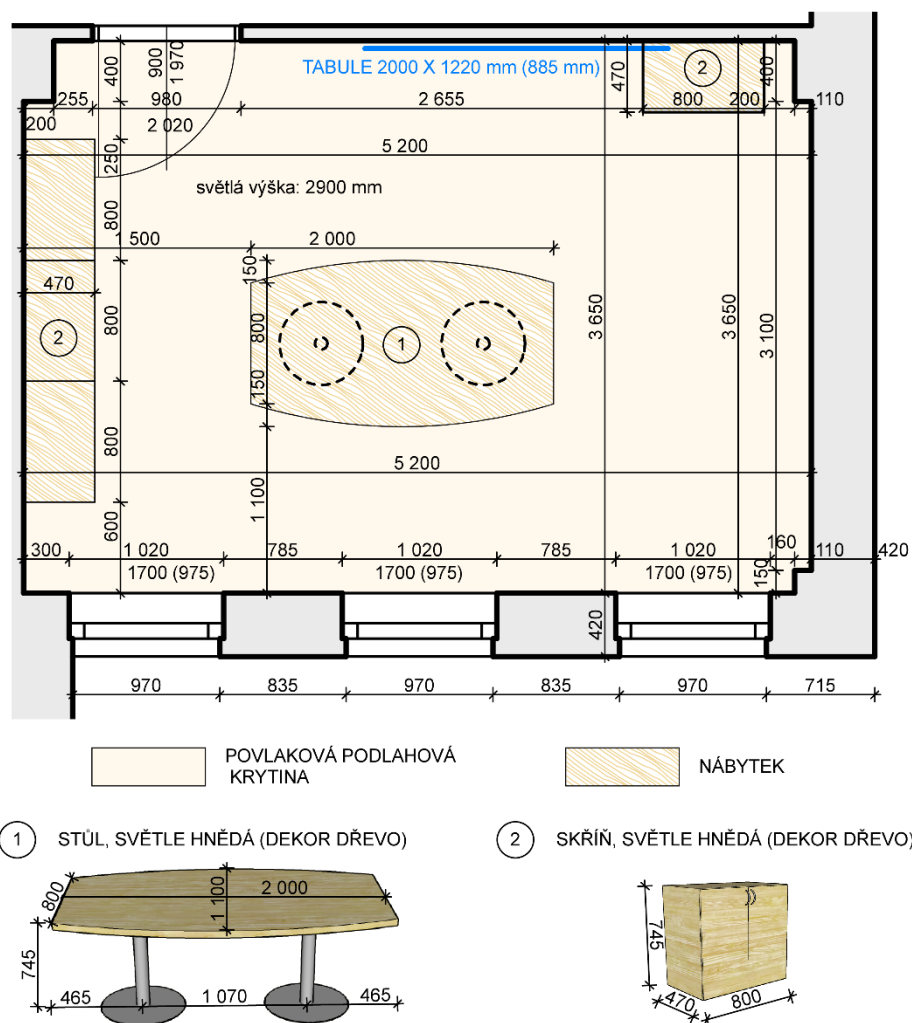
Obr. 5.5.9: Schéma umístění (situace) hodnocené místnosti v Brně pro vytvoření výpočetního modelu (autor)



Obr. 5.5.11: Schéma pohledu pro sestavení výpočetního modelu – fasáda budovy B směrem do ulice Rybkova – 2. část (legenda uvedena u 1. části pohledu) (autor)



Obr. 5.5.12: Schéma pohledu pro sestavení výpočetního modelu – fasáda budovy R směrem do ulice Rybkova (autor)



Obr. 5.5.13: Schéma půdorysu (včetně zařízení) hodnocené místnosti v Brně (autor)

5.5.3.2 Stanovení světelně technických parametrů vnitřních a vnějších povrchů

Světelně technické vlastnosti vnitřních a vnějších povrchů byly stanoveny zejména na základě měření jasů těchto povrchů bodovým jasoměrem Gossen Mavo-Spot 2. Měření pro stanovení světelně technických parametrů vnitřních a vnějších povrchů byla provedena při zatažené obloze autorkou dizertační práce společně s jedním spolupracovníkem zhruba v době od 10:30 do 14:00 dne 8. 12. 2015 a dne 16. 12. 2015. Dne 16. 12. 2015 probíhala měření pro stanovení světelně technických vlastností povrchů mimo dobu měření osvětleností a jasů pro stanovení činitele denní osvětlenosti.

5.5.3.2.1 Světelně technické vlastnosti netransparentních povrchů

Pro jednotlivé povrchy byly hodnoty činitele odrazu světla stanoveny z měření jasů bodovým jasoměrem v 10 různých bodech (viz příloha 12.4.4). Hodnoty činitelů odrazu světla vnitřních a vnějších povrchů byly stanoveny dle vzorce (5.5.1) a dle metodiky popsané v kapitole 5.5.1.3.

Výsledné hodnoty činitele odrazu světla jsou pro jednotlivé vnitřní a vnější povrchy uvedeny v tab. 5.5.5. Pro povrchy, které nebyly přístupné měření jasů, byla hodnota činitele odrazu světla stanovená odborným odhadem za využití tabulky A.4 v normě ČSN 73 0580-1 [7].

Tab. 5.5.5: Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních a vnějších netransparentních povrchů pro měření in-situ v Brně (autor)

popis povrchu		činitel odrazu světla	
označení	popis	změřená hodnota ρ_b [-]	hodnota pro výpočet $\rho_{b, sw}$ [-]
interiér			
vnitřní stěna	bílá	$0,78 \pm 0,01$	0,78
vnitřní dveře	středně šedá	$0,40 \pm 0,01$	0,40
strop	bílá	$0,80 \pm 0,01$	0,80
podlaha	běžová (povlaková krytina)	$0,42 \pm 0,01$	0,42
rám okna	tmavě šedá	$0,24 \pm 0,01$	0,24
parapet	šedá	$0,41 \pm 0,01$	0,41
nábytek (stůl, skříň)	světle hnědá (dekor dřevo)	$0,60 \pm 0,01$	0,60
nohy stolu	šedá	-	0,40 ¹⁾
tabule	bílá	$0,73 \pm 0,01$	0,73
exteriér			
fasáda budovy B	žlutá (hladká omítka)	$0,72 \pm 0,01$	0,72
fasáda budovy B	žlutá (strukturovaná omítka)	$0,54 \pm 0,01$	0,54
sokl budovy B	běžová	$0,45 \pm 0,02$	0,45
venkovní rámy oken budovy B	bílá	-	0,78 ²⁾
střecha budovy B	cihlově červená (pálená střešní taška)	-	0,20 ³⁾
mostní podpěry	tmavě šedá	$0,10 \pm 0,01$	0,10
fasáda budovy R	tmavě červená	$0,15 \pm 0,01$	0,15
fasáda budovy R	světle šedá	$0,42 \pm 0,01$	0,42
fasáda budovy R	středně šedá	$0,34 \pm 0,01$	0,34
sokl budovy R	tmavě šedá	$0,11 \pm 0,01$	0,11
venkovní rámy oken budovy R	šedá	-	0,20 ²⁾
terén mezi budovami R a B s výjimkou chodníku před budovou B	zelená, šedá (trávník, asfalt)	-	0,10 ⁴⁾
terén před budovou B – dlážděný chodník	šedá	-	0,30 ⁵⁾
Vysvětlivky:			
1) Hodnota činitele odrazu světla noh stolu byla stanovena odborným odhadem z důvodu obtížného umístění etalonu na kulatý povrch.			
2) Hodnota činitele odrazu světla venkovních rámy oken byla stanovena odborným odhadem, neboť rámy jednotlivých oken mohou být různě znečištěny a jejich činitel odrazu se může vzájemně lišit.			
3) Hodnota činitele odrazu světla byla stanovena odborným odhadem z důvodu nepřístupnosti povrchu pro měření dostupnými prostředky.			
4) Hodnota činitele odrazu světla byla stanovena odborným odhadem, neboť se jedná o nehomogenní povrch, o jehož činiteli odrazu světla rozhoduje i jeho struktura. Z tohoto důvodu byla pro činitel odrazu světla převzata hodnota z čl. A.20 písm. a) normy ČSN 73 0580-1 pro živíční povrch a trávník.			
5) Hodnota činitele odrazu světla byla stanovena odborným odhadem, neboť se jedná o nehomogenní povrch, o jehož činiteli odrazu světla rozhoduje i jeho struktura. Z tohoto důvodu byla pro činitel odrazu světla převzata hodnota z tabulky A.4 normy ČSN 73 0580-1 [7] pro betonovou dlažbu.			

5.5.3.2.2 Světelně technické vlastnosti okna

Denní osvětlení hodnocené místnosti je zajištěno třemi okny s tepelně izolačním trojsklem. Všechna tři okna mají jednotné vnitřní rozměry – šířka: 1,20 m, výška: 1,70 m. Spodní i horní prosklená část okna má šířku 0,81 m, spodní prosklená část okna je vysoká 0,40 m a výška prosklení horní části okna je 0,90 m. Hodnota činitele prostupu světla stíněním konstrukcí osvětlovacího otvoru nepropouštějící světlo τ_k [-] (tj. podíl prosklené plochy okna vůči celkové ploše okna) tedy činí 0,52. Vnitřní i vnější rám okna je šedý s činitelem odrazu světla dle tab. 5.5.5. Činitel prostupu světla zasklením byl včetně započtení činitele znečištění stanoven dle postupu uvedeného v kapitole 5.5.1.3.3. Z naměřených hodnot jasů dne 16. 12. 2015 byla v příloze 12.4.4 vypočtena hodnota činitele prostupu světla zasklením $\tau_{s,z}$ se zahrnutím celkového činitele znečištění $\tau_{s,z} = (0,65 \pm 0,01)$, přičemž pro výpočet v programu Daysim je použita hodnota $\tau_{s,z, SW} = 0,65$.

5.5.3.2.3 Světelně technické vlastnosti zasklení mostu

Most zastíňující hodnocenou místnost je z větší části zasklený tepelně izolačním dvojsklem. Pomocí přístroje Glass-Check Pro GC300 (evidenční číslo: SAP 001000250045-0000) Ústavu pozemního stavitelství Vysokého učení technického v Brně byly stanoveny následující parametry zasklení mostu:

- dvojsklo: 8,6 / 16,7 / 5,7 mm;
- měkké pokovení třemi vrstvami stříbra na straně 3 nebo 4.

Pro tyto parametry zasklení byl pro účely sestavení počítačového modelu pro simulace denního osvětlení odborným odhadem stanoven činitel prostupu světla 0,50 a činitel odrazu světla 0,15.

5.5.3.3 Měření denních osvětleností a jasů pro stanovení činitele denní osvětlenosti

Měření denních osvětleností a jasů pro stanovení činitele denní osvětlenosti bylo provedeno autorkou dizertační práce společně s jedním spolupracovníkem dne 16. 12. 2015 v době od 11:50 do 12:32. Měření jasů a denních osvětleností venkovní horizontální nezastíněné roviny bylo zajištěno autorkou dizertační práce a spolupracovník simultánně prováděl měření osvětleností v místnosti. Vzájemná koordinace měření byla zajištěna telefonickým spojením.

Hodnoty denních osvětleností byly měřeny současně v interiéru hodnocené místnosti čtyřmi čidly Ahlborn FLA 623 VL a v exteriéru na horizontální nezastíněné rovině jedním čidlem Ahlborn FLA 623 VL. V hodnocené místnosti i v exteriéru byla čidla pro měření denních osvětleností v horizontální rovině umístěna na statech dle zásad uvedených v kapitole 5.5.1.1. V rámci měření byly stanoveny hodnoty denních osvětleností v sedmi bodech dle obr. 5.5.14:

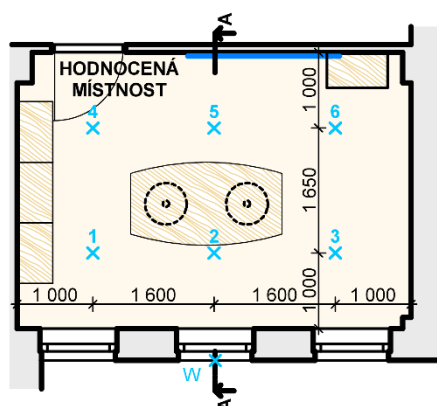
- 1) v horizontální rovině v bodech č. 1 – 6 uvnitř místnosti ve výšce 0,85 m nad podlahou;
- 2) ve vertikální rovině fasády v bodě W uprostřed výšky a šířky okna.

Z důvodu celkového počtu dostupných čidel Ahlborn FLA 623 VL pro měření denních osvětleností nebylo možné změřit osvětlenosti ve všech sedmi hodnocených bodech současně. Měření denních osvětleností proto probíhalo postupně v **řadách A až C**: A) body č. 1 – 3, B) body č. 2 – 4, C) bod W. Specifikaci čidel pro měření v jednotlivých bodech je uvedena v tab. 5.5.6.

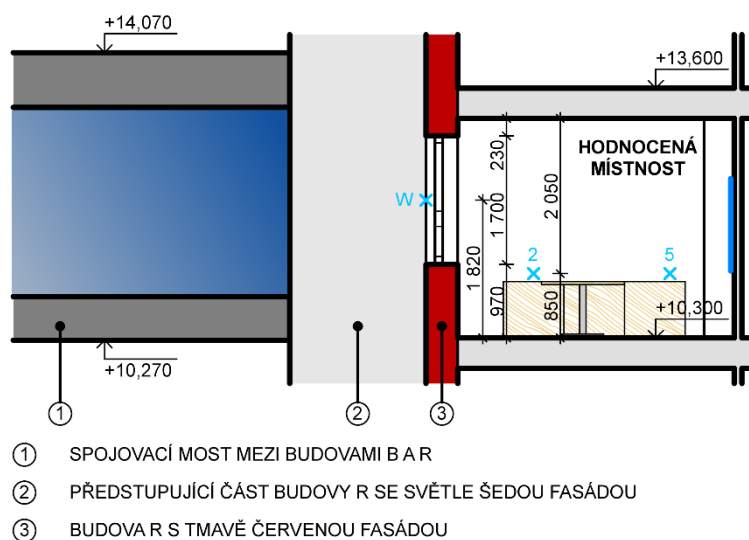
Tab. 5.5.6: Přehled čidel použitých pro měření denních osvětleností in-situ v Brně (autor)

výrobní číslo čidla Ahlborn FLA 623 VL	použití čidla
13050699	měření denních osvětleností v bodech 1, 4
13050698	měření denních osvětleností v bodech 2, 5
13050697	měření denních osvětleností v bodech 3, 6
13050696	měření denních osvětleností v bodě W
14101287	měření denních osvětleností vodorovné roviny v exteriéru

PŮDORYS

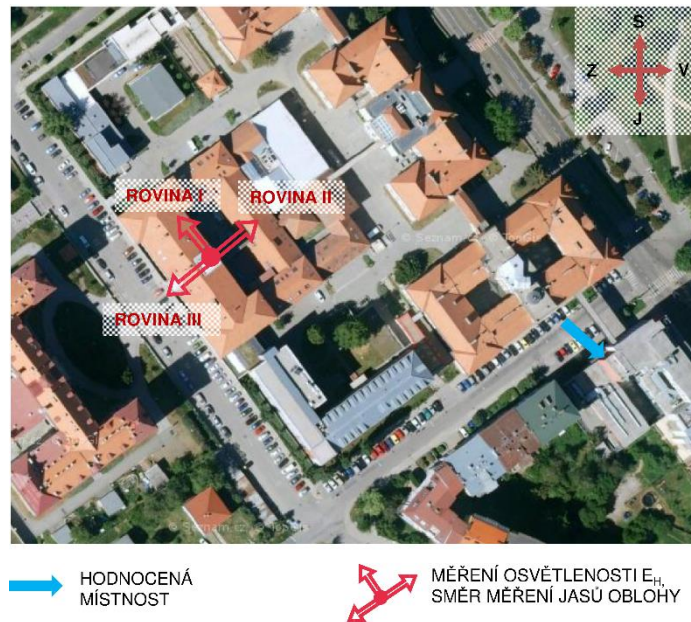


ŘEZA-A



Obr. 5.5.14: Schéma umístění hodnocených bodů v místnosti v Brně (autor)

Jasy oblohy byly měřeny jasoměrem Gossen Mavo-Spot 2 v úhlech 15°, 45° a 90° ve 3 rovinách (viz obr. 5.5.15, obr. 5.5.16) před zahájením měření a po ukončení měření denních osvětleností v jednotlivých etapách dle harmonogramu v příloze 12.5.3. Měření denních osvětleností se pro danou etapu považovalo za platné pouze v případě, že kritéria platnosti měření jasů (viz kapitola 5.4.4.2) byla splněna před i po měření denních osvětleností v dané etapě. Při měření osvětleností venkovní horizontální nezastíněné roviny byla rovnoměrnost zatažení oblohy kontrolována také vizuálně. Pro každý bod byla provedena dvě platná měření denních osvětleností. Měřením určené hodnoty jasů oblohy a denních osvětleností uvádí příloha 12.5.3 společně s vyhodnocením platnosti měření.



Obr. 5.5.15: Vyznačení umístění hodnocené místnosti a místa měření venkovních denních osvětleností E_H a jasů oblohy při měření in-situ v Brně (autor s využitím [136])



Obr. 5.5.16: Rozmístění jedné řady luxmetrů v měřené místnosti v Brně (vlevo); umístění jasoměru a luxmetru na venkovní horizontální rovině (vpravo) (autor)

5.5.3.4 Stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti výpočtem v programu Daysim

V programu Daysim byly vypočteny hodnoty činitele denní osvětlenosti pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16. Simulační parametry použité při výpočtu v programu Daysim jsou uvedeny v tab. 5.1.1. Vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8. Pro model zastiňovací situace v programu Daysim byly použity světelné technické parametry povrchů dle kapitoly 5.5.3.2, přičemž světlonepropustné povrchy jsou považovány za difúzní. Pro simulace v programu Daysim je dále nutné povrchy modelu zadat jako spektrálně neutrální ([107] str. 48). Terén mimo oblast mezi budovami R a B byl pro světelné simulace uvažován s činitelem odrazu světla 0,1 (tj. např. tráva, asphalt dle čl. A.20 a tabulky A.4 normy ČSN 73 0580-1 [7]). Pro výpočet v programu Daysim byla hodnocená situace vymodelována v programu SketchUp [140] (viz obr. 5.5.17) a export geometrie do programu Daysim byl proveden pomocí doplňku programu SU2DS [142].



Obr. 5.5.17 Model pro světelné simulace v programu Daysim – měření in-situ v Brně (autor)

5.5.3.5 Výsledky měření in-situ a simulací denního osvětlení

Pro platná měření denních osvětleností byly v tab. 5.5.7 ze změřených hodnot denních osvětleností pomocí vzorce (2.5.1) stanoveny referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{i, ref, j}$, kde i je označení hodnoceného bodu a j je označení měření. Zároveň jsou v tab. 5.5.7 uvedeny také hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené pro hodnocené body výpočtem v programu Daysim.

5.5.3.6 Vyhodnocení

Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené pomocí světelné simulace byly porovnány s referenčními hodnotami pomocí hodnotících kritérií (viz tab. 5.5.7): rozdíl $\Delta D_{i, sw, j}$ vypočtené a referenční hodnoty, relativní chyba $\Delta d_{i, sw, j}$ referenční a vypočtené hodnoty, ukazatele $rMBE$, $rRMSE$. V tab. 5.5.7 je také vyznačena minimální a maximální absolutní hodnota hodnotících kritérií $\Delta D_{i, sw, j}$ a $\Delta d_{i, sw, j}$ pro body 1 – 6 v horizontální rovině. Hodnotící kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ jsou stanovena samostatně pro horizontální a vertikální rovinu, přičemž jsou tato kritéria určena vždy na základě obou provedených měření. Kritéria $rMBE$ a $rRMSE$ byla pro vertikální rovinu stanovena pouze na základě dvou změřených hodnot a jedná se tedy pouze o orientační hodnoty.

V horizontální rovině (hodnocené body 1 až 6) byla pro obě provedená měření maximální záporná relativní chyba vypočtených hodnot stanovena v bodě 4. Vypočtená hodnota činitele denní osvětleností je v tomto bodě oproti referenční hodnotě nižší o 9,32 % v měření 1 a o 10,18 % v měření 2. Naopak maximální kladná relativní chyba vypočtených hodnot byla zjištěna pro obě měření v bodě 6, kde byly oproti změřeným hodnotám vypočteny hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší o 2,00 % vůči měření 1 a o 9,68 % vůči měření 2. Ukazatelem $rMBE$ bylo stanoveno, že vypočtené hodnoty v horizontální rovině jsou v průměru nižší než hodnoty změřené o 2,91 %. Dle kritéria $rRMSE$ se vypočtené a změřené hodnoty v horizontální rovině liší o 6,22 %.

Ve vertikální rovině byla v bodě W měřením stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti 34,95 % (měření 1) a 32,83 % (měření 2). V programu Daysim byla v bodě W vypočtena hodnota činitele denní osvětlenosti 34,43 %. Relativní chyba referenční a vypočtené hodnoty tedy v bodě W činí -1,49 % pro měření 1 a 4,87 % pro měření 2. V horizontální i vertikální rovině byly programem Daysim stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti velmi blízké hodnotám, které byly stanoveny pomocí obou měření in-situ.

Tab. 5.5.7: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci měření in-situ v Brně (autor)

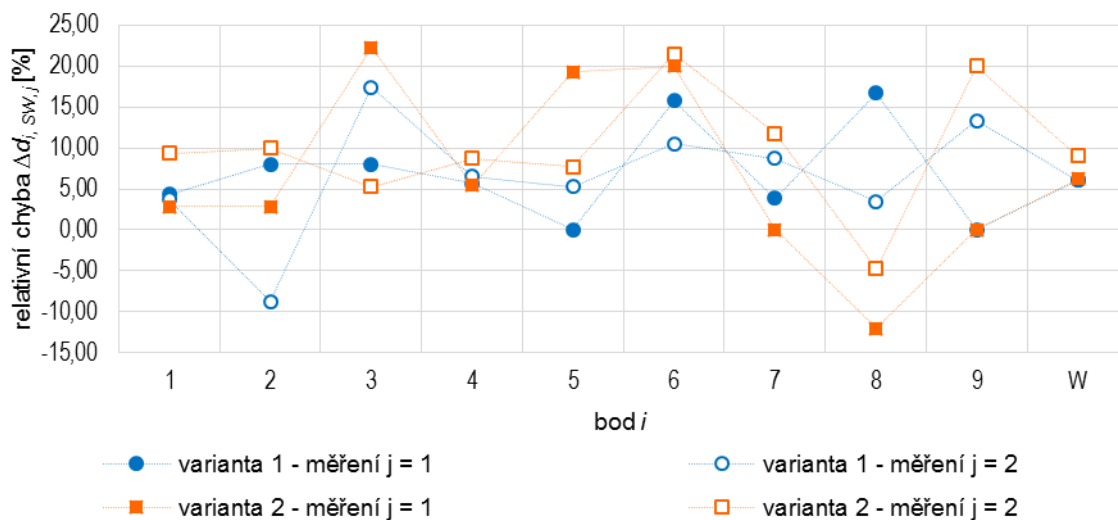
datum měření 1, 2			16. 12. 2015							
hodnocený bod <i>i</i>			1	2	3	4	5	6	W	
měření 1	$D_{i,ref,1}$	[%]	2,36	3,08	3,20	1,18	1,27	1,00	34,95	
měření 2	$D_{i,ref,2}$	[%]	2,30	2,91	3,04	1,19	1,24	0,93	32,83	
Daysim	$D_{i,SW,1} = D_{i,SW,2}$	[%]	2,35	2,88	2,97	1,07	1,18	1,02	34,43	
	$\Delta D_{i,SW,1}$	[p. b.]	-0,01	-0,20	-0,23	-0,11	-0,09	0,02	-0,52	
	$\Delta d_{i,SW,1}$	[%]	-0,42	-6,49	-7,19	-9,32	-7,09	2,00	-1,49	
	$\Delta D_{i,SW,2}$	[%]	0,05	-0,03	-0,07	-0,12	-0,06	0,09	1,60	
	$\Delta d_{i,SW,2}$	[p. b.]	2,17	-1,03	-2,30	-10,08	-4,84	9,68	4,87	
	<i>rMBE</i>	[%]	-2,91							1,69
	<i>rRMSE</i>	[%]	6,22							3,60
Poznámka: Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální absolutní hodnotu hodnotících kritérií $\Delta D_{i,SW,j}$ a $\Delta d_{i,SW,j}$ v bodech 1 až 6 pro dané měření. Označení bodů dle obr. 5.5.14.										

5.5.4 Shrnutí validování programu Daysim pomocí měření in-situ

Pro validování programu Daysim měřeními in-situ byly vybrány místnosti se složitějším zastíněním, než tomu bylo u měření na modelu. První měřenou místností byla místnost ve Žďáru nad Sázavou. Okno této místnosti se nachází v rohu dvorního vnitrobloku. V průběhu měření bylo okno navíc variantně zastíněno také horizontální překážkou nad oknem. Měření ve Žďáru nad Sázavou bylo tedy provedeno pro dvě varianty zastínění okna místnosti: 1) bez zastínění horizontální překážkou nad oknem; 2) se zastíněním horizontální překážkou s délkou vyložení 1,20 m. Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly pro každou z variant stanovovány pro devět bodů v horizontální rovině a pro jeden bod v rovině vertikální. Pro každou z variant tak bylo určeno 10 referenčních hodnot v rámci jednoho platného měření. Relativní chyby výpočty stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti od hodnot změřených byly společně s hodnotícími kritérii *rMBE* a *rRMSE* uvedeny v tab. 5.5.4. Relativní chyby výpočty stanovených hodnot oproti hodnotám změřeným jsou zrekapitulovány v grafu na obr. 5.5.18.

Při měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou byly výpočtem většinou stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší než referenční hodnoty zjištěné měřením. V bodech s měřením stanovenými hodnotami činitele denní osvětlenosti vyššími než 0,30 % (tj. body 1, 2, 4 a 5 pro variantu 1, body 1, 2 a 4 pro variantu 2) se v obou variantách zastínění liší vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti od změřených o méně než 15 %. Větší než 15% relativní chyba vypočtených hodnot byla v horizontální rovině zjištěna u několika referenčních hodnot činitele denní osvětlenosti s hodnotou do 0,30 % včetně. U bodů s takto nízkými hodnotami činitele denní osvětlenosti je relativní chyba vyšší než 15 %, přestože absolutní rozdíl mezi vypočtenou a změřenou hodnotou je nižší než 0,1 p. b. Pro hodnocení dle normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] se

mají hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti zaokrouhlovat na celé desetiny procent. Rozdíl v hodnotách činitele denní osvětlenosti stanovených výpočty a měřeními v bodech horizontální roviny lze tedy považovat za akceptovatelný. Z hlediska kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ bylo u bodů v horizontální rovině dosaženo mírně vyšší relativní chyby u místnosti stíněné horizontální překážkou nad oknem (tj. varianta 2, kde $rMBE = 8,34\%$ a $rRMSE = 12,53\%$). Ve vertikální rovině jsou vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší než referenční maximálně o 9,07 %.



Poznámka:

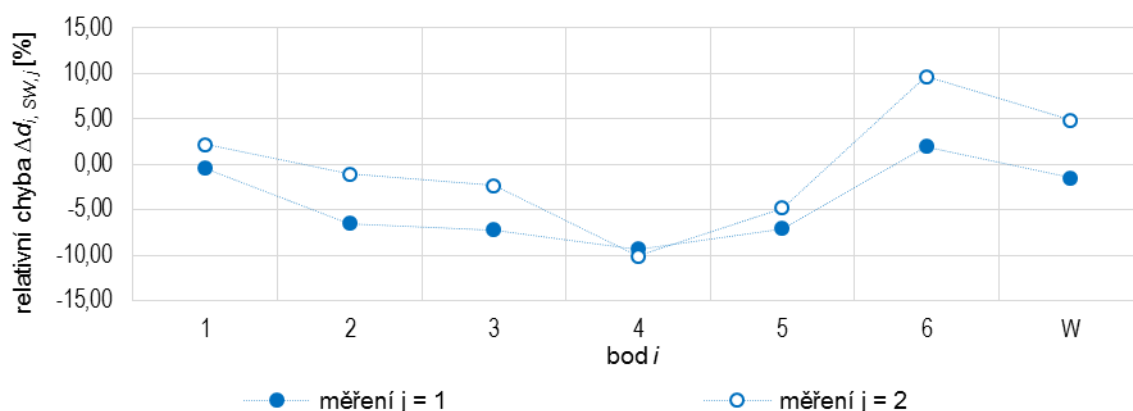
Grafy sestaveny dle dat uvedených v tab. 5.5.4. Označení bodů dle obr. 5.5.5. Označení variant dle kapitoly 5.5.2.2.

Obr. 5.5.18 Rekapitulace relativních chyb pro body 1 – 9 a bod W pro měření na modelu (autor)

V měření in-situ v Brně byla okna hodnocené kanceláře stíněna současně naproti stojící budovou a z boku spojovacím mostem mezi budovami. V rámci měření in-situ byla provedena dvě platná měření denních osvětleností v šesti bodech v horizontální rovině a v jednom bodě ve vertikální rovině. Pro hodnocené body byly v tab. 5.5.7 uvedeny rozdíly a relativní chyby vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti od hodnot změřených společně s kritérii $rMBE$ a $rRMSE$. Relativní chyby zjištěné v hodnocených bodech pro hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem oproti změřeným hodnotám jsou zrekapitulovány v grafu na obr. 5.5.19. Na rozdíl od měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem většinou nižší než referenční hodnoty zjištěné měřením. Z hlediska absolutní hodnoty relativní chyby se v horizontální rovině nejvíce liší vypočtená hodnota od hodnoty změřené o 10,08 %. Vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině se liší od referenčních dle kritéria $rMBE$ o -2,91 % a dle kritéria $rRMSE$ o 6,22 %. Ve vertikální rovině byla výpočtem stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti o 1,49 % nižší než v měření 1 a o 4,87 % vyšší než v měření 2.

Na základě provedené literární rešerše (např. [54]; [55]; [56]; [83]; [95]; [104] str. 67 – 68) lze také u měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou a v Brně z obdobných důvodů jako u měření na modelu (viz kapitola 5.5.4) považovat **přesnost programu Daysim při stanovení činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze za akceptovatelnou pro provedení analýzy denního osvětlení zastíněných budov**. Diference v hodnotách činitele denní osvětlenosti stanovených měřeními a výpočtem mohly být způsobeny neustálou proměnlivostí

jasů oblohy, odchylkami v geometrii a světelně technických vlastnostech reálné zastíňovací situace a počítačového modelu. Při měření in-situ je prováděn současný odečet osvětlenosti na dvou různých místech dvěma různými osobami, a proto může i přes veškerou snahu o zajištění simultánního měření dojít také k určitým nepřesnostem při záznamu změřených hodnot.



Poznámka:

Grafy sestaveny dle dat uvedených v tab. 5.5.7. Označení bodů dle obr. 5.5.14.

Obr. 5.5.19 Rekapitulace relativních chyb pro body 1 – 6 a bod W pro měření na modelu (autor)

5.6 SHRUTÍ VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM

Validace programu Daysim z hlediska stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti byla provedena pomocí metodiky CIE 171: 2006 [6], měření na modelu a měření in-situ. V současnosti (listopad 2019) nejsou stanovena hodnotící kritéria, pomocí kterých by se programy měly validovat ani maximální přípustné hodnoty těchto kritérií, při kterých by bylo možné program považovat ještě za dostatečně přesný. Pro vyhodnocení v dizertační práci byla na základě provedené literární rešerše stanovena hodnotící kritéria popsaná v kapitole 5.2.

Z hlediska vyhodnocení pomocí metodiky CIE 171: 2006 [6] se 93,94 % vypočtených hodnot liší od referenčních o méně než 5 %. Při měření na modelu byla zjištěna relativní chyba v rozmezí -15 % a +15 % pro 99,5 % vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině a všechny vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině se od hodnot stanovených měřením lišily do 10 %. U měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou byla pro několik bodů v horizontální rovině uvnitř místnosti stanovena relativní chyba vyšší než 15 %, avšak absolutní rozdíl vypočtené a referenční hodnoty byl u těchto bodů menší než 0,1 p. b. Hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti mají zaokrouhlovat na celé desetiny procent dle ČSN 73 0580-1[7], [8], proto lze i hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené pro měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou považovat za dostatečně přesné. U měření in-situ v Brně byly zjištěny relativní chyby vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti od hodnot změřených do 15 %. **Uvedené relativní chyby a také v předcházejících kapitolách uvedené hodnoty kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ lze na základě literární rešerše (např. [54]; [55]; [56]; [83]; [95]; [104] str. 67 – 68) považovat za přijatelné z hlediska použití programu pro stanovení činitele denní osvětlenosti při analýze denního osvětlení zastíněných budov.**

6 POZNATKY VYPLÝVAJÍCÍ Z MĚŘENÍ NA MODELU PRO DENNÍ OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Účelem měření na modelu, které je popsáno v kapitole 5.4, nebylo pouze validovat program Daysim z hlediska stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16, ale také zhodnotit vliv činitele odrazu světla od venkovních povrchů a umístění venkovních stínících překážek na hodnoty činitele denní osvětlenosti z hlediska požadavků uvedených v normách ČSN 73 0580-1 [7], [8] a ČSN 73 0580-2 [10], [11]. Pro dále provedená vyhodnocení jsou použita data obsažená v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13 pro validaci programu Daysim pomocí měření na modelu. Stínící překážky, hodnocená místnost i umístění hodnocených bodů odpovídají kapitole 5.4, ve které jsou také popsány. V kapitole 5.4 je také uveden způsob stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti z dat zjištěných měření a pomocí světelných simulací v programu Daysim.

6.1 VLIV ČINITELE ODRAZU SVĚTLA OD VENKOVNÍCH POVRCHŮ NA HODNOTY ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI Z HLEDISKA VYHODNOCENÍ DLE ČESKÝCH NOREM

Z porovnání výsledků pro provedená měření a výpočty hodnot činitele denní osvětlenosti v tab. 5.4.6 až tab. 5.4.13 je patrné, že změnou hodnoty činitele odrazu světla od venkovních povrchů může z hlediska vyhodnocení denního osvětlení dle českých norem ČSN 73 0580-1 [7], [8] a ČSN 73 0580-2 [10], [11] dojít ke značné změně hodnoty činitele denní osvětlenosti v horizontální i vertikální rovině. Jako příklad lze uvést varianty 1Aa a 1Ba (tj. vertikální překážka výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m od místnosti – viz obr. 5.4.2, obr. 5.4.3). Ve variantě 1Ba byla oproti variantě 1Aa zvýšena průměrná hodnota činitele odrazu světla od překážky z hodnoty 0,19 na hodnotu 0,58 při zachování průměrné hodnoty činitele odrazu světla od terénu o hodnotě 0,10. Pokud by byl hodnocen vliv stínící překážky na hodnocenou místnost dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8], bylo by použito kritérium činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany. U hodnocené místnosti umístění bodu pro použití kritéria D_w odpovídá bod W1, který se nachází ve výšce 2 m nad terénem v polovině výšky a šířky okna místnosti (viz obr. 5.4.2, obr. 5.4.3). V tomto bodě byla pro variantu 1Aa zjištěna hodnota činitele denní osvětlenosti 26,27 % a 27,05 % pomocí měření a 26,58 % výpočtem v programu Daysim (viz tab. 5.4.6). Pro variantu 1Ba byly v bodě W1 stanoveny hodnoty činitele denní osvětlenosti 33,09 % a 33,86 % dle měření a 32,71 % výpočtem v programu Daysim (viz tab. 5.4.7). **Dle normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] je pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí požadováno dodržení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w alespoň 32 %.** Podle změny Z3 normy ČSN 73 0580-1 [8] se hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w mají zaokrouhlovat na celé číslo. **Pro variantu 1Aa tedy byla měřením i výpočtem v bodě W1 stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti výrazně nižší než 32 %. Ale pro variantu 1Ba byla při zaokrouhlení na celé číslo výpočtem i v obou měřeních stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti 33 % až 34 %.** Pro variantu 1Aa by tedy zastínění uvažovanou vertikální překážkou bylo nevyhovující požadavkům na běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8]. Ale pro variantu 1Ba by již došlo ke splnění požadavků přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] na hodnotu

činitele denní osvětlenosti D_w pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí. Z porovnání těchto dvou hodnocených variant tedy vyplývá, že **změna činitele odrazu světla venkovních povrchů může mít podstatný vliv na vyhodnocení přístupu světla k průčelí budovy s oknem zastíněné místnosti pomocí kritéria činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany.**

Kromě hodnot činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině však lze u variant 1Aa a 1Ba porovnat také vliv hodnoty činitele odrazu světla od překážky na hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti. Byla-li by hodnocená místnost místností obytnou, potom by pro hodnocení podle normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] byly rozhodující hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech 2 a 3. Tyto body jsou umístěny uprostřed hloubky místnosti ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn a svým umístěním tedy odpovídají kontrolním bodům pro obytnou místnost s bočním denním osvětlením dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11]. Pro variantu 1Aa se hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením pohybují od 0,33 % do 0,35 % a výpočtem bylo stanoveno v obou bodech 0,36 % (viz tab. 5.4.6). Pro variantu 1Ba jsou v těchto bodech stanoveny měřením hodnoty 0,59 % až 0,61 % a výpočtem hodnoty 0,64 % a 0,65 % (viz tab. 5.4.7). Dle čl. 3.2.2 ČSN 73 0580-2 [10], [11] by přitom v těchto bodech byla mimo jiné požadována minimální hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 % (požadavky na denní osvětlení obytné místnosti viz kapitola 2.5.4.2). Zatímco v případě varianty 1Aa jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech 2 a 3 zhruba poloviční než požadovaná hodnota 0,7 %, pro variantu 1Ba je nejmenší stanovená hodnota oproti 0,7 % nižší již pouze o 0,11 p. b. Ačkoliv ve variantě 1Aa ani 1Ba nebyly splněny požadavky na hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř obytné místnosti dle ČSN 73 0580-2 [10], [11], je z výsledků zřejmé, že zvýšení hodnoty činitele odrazu světla od vertikální překážky ve variantě 1Ba vedlo u hodnocené místnosti k nárůstu hodnot činitele denní osvětlenosti v bodech 2 a 3 zhruba o 70 %.

Z hodnot činitele denní osvětlenosti v bodě W1 a v bodech 2 a 3 pro variantu 1Ba je také patrné, že **hodnota činitele denní osvětlenosti zhruba 32 % pro běžně velké okno rozměrů 2 m × 1,5 m v místnosti široké 4 m, hluboké 6 m se světlou výškou 2,6 m nezaručuje splnění hodnot činitele denní osvětlenosti v bodech uvnitř místnosti**, ačkoliv plocha okna představuje 28,8 % plochy okenní stěny a 12,5 % podlahové plochy hodnocené místnosti. Pro měření na modelu přitom bylo použito jednoduché čiré zasklení, jehož světelná propustnost je výrazně vyšší než u dnes obvyklých oken s tepelněizolačními dvojskly nebo trojskly.

Pro hodnocenou vertikální překážku výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m od místnosti by bylo dle měření i výpočtů dosaženo požadavků na hodnoty činitele denní osvětlenosti v obytných místnostech dle normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] pouze pro variantu 1Bc. Pro variantu 1Bc byly v bodech 2 a 3 stanoveny měřením hodnoty činitele denní osvětlenosti 1,09 % až 1,11 % a výpočtem hodnota 1,15 % (viz tab. 5.4.7). Pro tuto variantu byl přitom měřeními i výpočtem stanoven činitel denní osvětlenosti D_w hodnotou 48 % až 49 % při zaokrouhlení na celá procenta (viz tab. 5.4.7). Varianta 1Bc je ale variantou spíše pouze teoretickou, protože v této variantě je uvažována světlá stínící překážka s průměrným činitelem odrazu světla 0,58 a mezi hodnocenou místností a stínící překážkou je uvažován velmi světlý terén s průměrným činitelem odrazu světla 0,70.

6.2 VLIV UMÍSTĚNÍ VENKOVNÍ PŘEKÁŽKY NA HODNOTY Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI Z HLEDISKA VYHODNOCENÍ DLE ČESKÝCH NOREM

Na základě provedených měření a výpočtů pro hodnocenou modelovou místnost je také možné vyhodnotit, jakým způsobem ovlivňuje umístění venkovní překážky denní osvětlení hodnocené místnosti. V příloze B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] se uvádí, že pomocí kritéria D_w se hodnotí přístup světla k průčelí budovy. Kritérium činitele denní osvětlenosti D_w pro hodnocení vlivu nových budov na budovy stávající bylo zavedeno, neboť denní osvětlení stávajících budov je zčásti dáno vnějším stíněním a zčásti parametry stávající zastíněné místnosti (např. malé okno, velká hloubka místnosti) [69], [73], [78].

Z porovnání výsledků zejména pro hodnocenou horizontální překážku nad oknem a pro vertikální překážky před oknem je ale patrné, že činitel denní osvětlenosti D_w má pro různé stínící překážky různou vypovídající hodnotu z hlediska denního osvětlení uvnitř místnosti. Pro ilustraci lze uvést porovnání hodnot činitele denní osvětlenosti ve variantách 1Bb (vertikální překážka – tab. 5.4.7, obr. 5.4.2, obr. 5.4.3) a 3Bb (horizontální překážka – tab. 5.4.11, obr. 5.4.2, obr. 5.4.3). V obou porovnávaných variantách má terén před hodnocenou místností průměrnou hodnotu činitele odrazu světla 0,25 a překážka společně s fasádou budovy s hodnocenou místností má průměrný činitel odrazu světla 0,58. U horizontální překážky nad oknem pro variantu 3Bb byl v bodě W1 stanoven činitel denní osvětlenosti D_w o hodnotě 25,97 % a 26,67 % dle měření a 24,91 % dle výpočtu (viz tab. 5.4.11). Uvedené hodnoty jsou tedy výrazně nižší než 32 % požadovaných pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8]. Pokud by však tato místnost byla místností obytnou a bylo by hodnoceno denní osvětlení uvnitř místnosti dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11], byly by rozhodující hodnoty činitele denní osvětlenosti ve dvou kontrolních bodech uprostřed hloubky místnosti (ale v maximální vzdálenosti 3 m od okenní stěny) ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn. Hodnoty činitele denní osvětlenosti pro vyhodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti se přitom mají zaokrouhlovat na desetiny dle normy ČSN 73 0580-1 [7], [8]. Umístění těchto kontrolních bodů odpovídají u hodnocené místnosti body 2 a 3. V obou těchto bodech bylo pro variantu 3Bb při zaokrouhlení na desetiny dosaženo činitele denní osvětlenosti 0,9 % dle měření i výpočtu (viz tab. 5.4.11). Hodnota činitele denní osvětlenosti 0,9 % je pro hodnocenou místnost zároveň minimální i průměrnou hodnotou činitele denní osvětlenosti stanovenou z obou kontrolních bodů. Z hlediska vyhodnocení dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] by tedy byl splněn požadavek na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti 0,7 % i požadavek na průměrnou hodnotu 0,9 %. **U horizontální překážky nad oknem ve variantě 3Bb by hodnocená místnost splnila požadavky na denní osvětlení obytných místností podle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11], přestože hodnota činitele denní osvětlenosti D_w zjištěná v bodě W1 je výrazně nižší než 32 %.** Pro doplnění je nutno uvést, že u horizontální překážky nad oknem by bylo dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] provedeno hodnocení pomocí činitele denní osvětlenosti D_w v bodě W1 pouze v případě, že by se jednalo o nově budovanou konstrukci nad stávajícím oknem (tj. např. dodatečné vybudování balkonu u již dokončené budovy).

Při zastínění místnosti vertikální překážkou ve variantě 1Bb hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w činí 36,81 % a 37,39 % dle měření a 36,35 % dle výpočtu (viz tab. 5.4.7). Uvedené hodnoty

činitele denní osvětlenosti D_w jsou tedy s rezervou vyšší než 32 % stanovených jako minimální požadovaná hodnota pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8]. Z hlediska vyhodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti dle požadavků čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] pro obytnou místnost je však v kontrolních bodech 2 a 3 při zaokrouhlení na desetiny zjištěna minimální i průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 % dle měření a 0,8 % dle výpočtu (viz tab. 5.4.7). Pro měření i výpočet by tak dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] byla splněna pouze minimální požadovaná hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 %, avšak pro změřené ani vypočtené hodnoty by nebyl splněn požadavek na průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti 0,9 % stanovenou z obou kontrolních bodů. **Přestože je u zastínění vertikální překážkou ve variantě 1Bb hodnota činitele denní osvětlenosti D_w v bodě W1 výrazně vyšší než 32 %, nejsou uvnitř místnosti splněny požadavky na hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř obytných místností podle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11].**

Dle hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w je přístup světla k průčelí budovy s hodnocenou místností stíněnou horizontální překážkou nad oknem (varianta 3Bb – tab. 5.4.11) výrazně menší než u místnosti stíněné vertikální překážkou před oknem (varianta 1Bb – tab. 5.4.7). Z hlediska vyhodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti dle normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] by však místnost stíněná horizontální překážkou nad oknem (varianta 3Bb) splnila požadavky normy, zatímco místnost stíněná vertikální překážkou před oknem (varianta 1Bb) by tyto požadavky nesplňovala. **Hodnocená místnost ve variantách 1Bb a 3Bb měla totožné parametry zasklení a vnitřních povrchů. Výrazně odlišné hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti ve variantách 1Bb a 3Bb tedy nebyly způsobeny parametry samotné hodnocené místnosti, ale umístěním venkovní překážky vůči hodnoceným bodům.** Vzhledem ke své poloze překážka nad oknem redukuje oblohovou složku činitele denní osvětlenosti v bodech blíže oknu více než vertikální překážka před oknem. Naopak vertikální překážka před oknem má výraznější vliv na hodnoty činitele denní osvětlenosti v zadní části místnosti než horizontální překážka nad oknem. Toto je patrné také z porovnání výsledků pro varianty 1Bb a 3Bb. Ve variantě 3Bb jsou oproti variantě 1Bb dle měření i výpočtů nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech 1 a W1 a naopak vyšší hodnoty v bodech 2 až 4.

Činitel denní osvětlenosti D_w se při hodnocení zastínění používá jako kritérium přístupu světla k průčelí budovy. Z provedené komparativní analýzy ale vyplývá, že denní osvětlení uvnitř místnosti nezávisí pouze na přístupu světla k průčelí budovy a parametrech samotné hodnocené místnosti, ale také na poloze stínící překážky vůči hodnocené místnosti. Vypovídající schopnost kritéria D_w se liší dle umístění stínících překážek vůči hodnocené místnosti. V další části dizertační práce proto bude blíže analyzován vliv různých typů stínících překážek na denní osvětlení uvnitř místnosti s ohledem na hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w .

6.3 SHRNU TÍ

Z provedených měření a výpočtů pro model vyplynulo, že **použití jiné hodnoty činitele odrazu světla od venkovních povrchů může mít významný vliv na vyhodnocení denního osvětlení zastíněné místnosti pomocí kritéria činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] i pomocí činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti například dle normy ČSN 73 0580-2 [10], [11].**

Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w má pro různé stínící překážky různou vypovídající hodnotu z hlediska denního osvětlení uvnitř místnosti. Toto bylo ilustrováno v kapitole 6.2 porovnáním vypočtených a změřených hodnot činitele denní osvětlenosti u dvou totožných místností s odlišným způsobem zastínění. První místnost byla stíněna vertikální překážkou výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m od okna (varianta 1Bb) a druhá místnost byla stíněna horizontální překážkou nad oknem (varianta 3Bb). Místnost s horizontální překážkou nad oknem (varianta 3Bb) má však dle kritéria D_w výrazně menší přístup denního světla k bodu umístěnému ve středu okna než místnost stíněná vertikální překážkou před oknem. Požadavek na hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w minimálně 32 % pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] byl splněn u místnosti stíněné vertikální překážkou před oknem (varianta 1Bb). Místnost stíněná horizontální překážkou nad oknem (varianta 3Bb) měla hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w v rovině zasklení okna z vnější strany výrazně nižší než požadovaných 32 %. Denní osvětlení v kontrolních bodech uvnitř obytné místnosti dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [10], [11] je ovšem vyhovující v případě místnosti stíněné horizontální překážkou nad oknem (varianta 3Bb) a nevyhovující u místnosti stíněné vertikální překážkou před oknem (varianta 1Bb). Obě porovnávané místnosti ve variantách 1Bb a 3Bb přitom byly zcela identické a odlišné hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti tak byly dány polohou stínící překážky vůči kontrolním bodům uvnitř místnosti.

Činitel denní osvětlenosti D_w jako kritérium přístupu světla k průčelí budovy byl v příloze B normy ČSN 73 0580-1 [7], [8] zaveden, aby se při hodnocení zastínění již existujících budov vyloučil vliv parametrů samotné stávající místnosti na denní osvětlení uvnitř této místnosti [69], [73], [78]. Z provedeného porovnání ale vyplývá, že denní osvětlení uvnitř místnosti nezávisí pouze na přístupu světla k průčelí budovy a parametrech samotné hodnocené místnosti, ale také na poloze stínící překážky vůči hodnocené místnosti. **V další části dizertační práce tedy bude blíže analyzován vliv různých typů stínících překážek na denní osvětlení uvnitř místnosti v závislosti na činiteli denní osvětlenosti D_w .**

7 ANALÝZA DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Z provedených měření na modelu vyplynulo, že hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany i hodnoty činitele denní osvětlenosti D uvnitř hodnocené místnosti mohou být poměrně výrazně ovlivněny činitelem odrazu světla od venkovních povrchů a umístěním venkovních překážek vůči kontrolním bodům. Pomocí simulací denního osvětlení v programu Daysim proto bude vyhodnoceno, jak umístění venkovních překážek a reflektance venkovních povrchů ovlivňují hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w . Zároveň bude provedena analýza vlivu rozdílného umístění exteriérových překážek a rozdílné světelné reflektance venkovních povrchů na kvantum denního světla v zastíněné místnosti v závislosti na hodnotách činitele denní osvětlenosti D_w , přičemž bude **ověřeno, zda je možné sestavit regresní modely závislosti zvolených hodnotících kritérií denního osvětlení uvnitř místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w .**

7.1 STANOVENÍ CHARAKTERISTICKÝCH ZPŮSOBŮ ZASTÍNĚNÍ

Stínění vnitřních prostorů venkovními překážkami je velmi různorodé. Požadavky na denní osvětlení bývají často vztaheny k průběžné vertikální překážce nekonečné délky a konstantní výšky před okny hodnocené místnosti. Takovou překážkou může být například velmi dlouhá řadová zástavba tvořená domy s plochou střechou. Často však bývá denní osvětlení hodnoceno také u místností ve vnitroblocích nebo u místností stíněných balkony. Pro analýzu denního osvětlení místností z hlediska umístění venkovních překážek proto byly zvoleny následující charakteristické způsoby zastínění:

- I.1) souvislá vertikální překážka umístěná ve vzdálenosti 7 m od průčelí hodnocené budovy (např. řadová zástavba) – schéma zastínění dle obr. 7.1.1, výška překážky dle tab. 7.1.1;
- I.2) souvislá vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od průčelí hodnocené budovy (např. řadová zástavba) – schéma zastínění dle obr. 7.1.1, výška překážky dle tab. 7.1.1;
- II.1) souvislá horizontální překážka umístěná 0,25 m nad nadpražím okna hodnocené místnosti (např. průběžný balkon nad oknem, přesah střechy) – schéma zastínění dle obr. 7.1.2, délka překážky dle tab. 7.1.2;
- III.1) čtvercový vnitroblok výšky 10 m – schéma zastínění dle obr. 7.1.3, délka vnitřní strany vnitrobloku dle tab. 7.1.3;
- III.2) čtvercový vnitroblok výšky 20 m – schéma zastínění dle obr. 7.1.3, délka vnitřní strany vnitrobloku dle tab. 7.1.3;
- III.3) čtvercový vnitroblok výšky 30 m – schéma zastínění dle obr. 7.1.3, délka vnitřní strany vnitrobloku dle tab. 7.1.3;
- IV) místnost bez stínění – dle obr. 7.1.4.

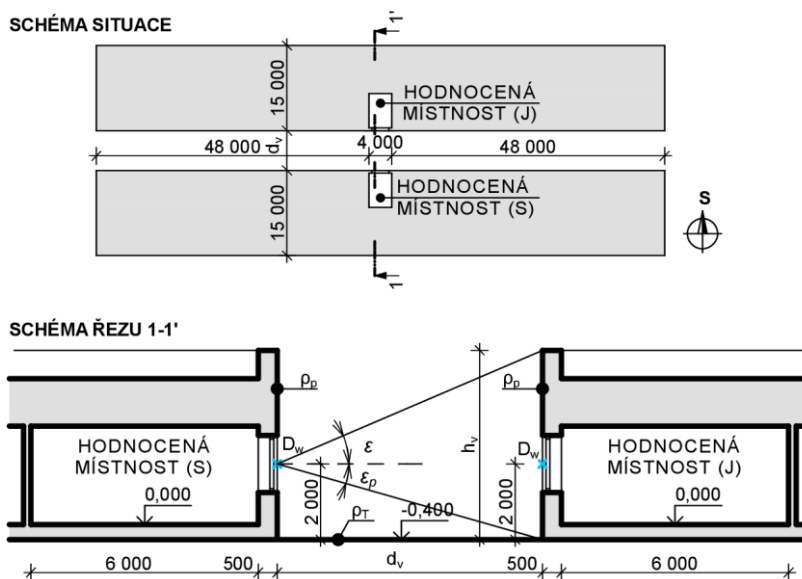
Způsoby zastínění I.1 až III.3 jsou zobrazeny na schématech na obr. 7.1.1 až obr. 7.1.3, přičemž je pro všechny způsoby zastínění uvažováno se **symetrickým zastíněním hodnocené místnosti**. Pro analýzu denního osvětlení zastíněných místností bylo nutné ve světelných simulacích postupně zvyšovat zastínění hodnocené místnosti změnou rozměrů stínících

překážek dle tab. 7.1.1 až tab. 7.1.3. Kromě zastíněných místností bylo pro potřeby analýzy denního osvětlení zastíněných místností nutné zařadit také **místnost bez stínění** (způsob zastínění IV, obr. 7.1.4), pomocí které byly stanoveny **výchozí hodnoty sledovaných parametrů**.

Souvislou vertikální překážku s konstantní výškou před oknem hodnocené místnosti (modely zastínění I.1, I.2) si lze představit jako řadovou zástavbu domy s plochou střechou. Přístup světla k průčelí budovy a kvantum denního světla v místnosti jsou ovlivněny úhlem stínění ε a úhlem k patě překážky ε_p dle obr. 7.1.1 [84]. Pro stanovení míry vlivu úhlu ε_p na hodnoty činitele denní osvětlenosti byla vertikální překážka uvažována ve dvou vzdálenostech od okna hodnocené místnosti. U způsobu zastínění I.1 se vertikální překážka nachází ve vzdálenosti 7 m od průčelí zastíněné budovy, což je minimální odstupová vzdálenost mezi rodinnými domy s okny obytných místností v protilehlých fasádách dle § 25 odstavce 2 vyhlášky č. 501/2006 Sb. [36]. Při tomto umístění je úhel k patě překážky ε_p stanovený z bodu D_w ve výšce 2 m nad terémem roven $15,9^\circ$. Vzdálenost stínící překážky 20 m od průčelí hodnocené budovy u způsobu zastínění I.2 byla stanovena tak, aby úhel k patě stínící překážky ε_p byl zhruba o 10° nižší než pro překážku ve vzdálenosti 7 m. Při vzdálenosti stínící překážky 20 m od průčelí hodnocené budovy je úhel ε_p roven $5,7^\circ$. Výšky vertikální překážky h_v [m] uvažované pro způsoby zastínění I.1 a I.2 jsou uvedeny v tab. 7.1.1. Budova s hodnocenou místností a stínící překážka jsou uvažovány se shodnou výškou.

Tab. 7.1.1: Výšky souvislé vertikální překážky před oknem hodnocené místnosti pro způsoby zastínění I.1, I.2 (autor)

úhel stínění ε [°]		výška překážky h_v [m]							
		10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
vzdálenost překážky d_v [m]	7,000	3,234	4,548	6,041	7,874	10,342	14,124	21,232	41,699
	20,000	5,527	9,279	13,547	18,782	25,835	36,641	56,950	115,426



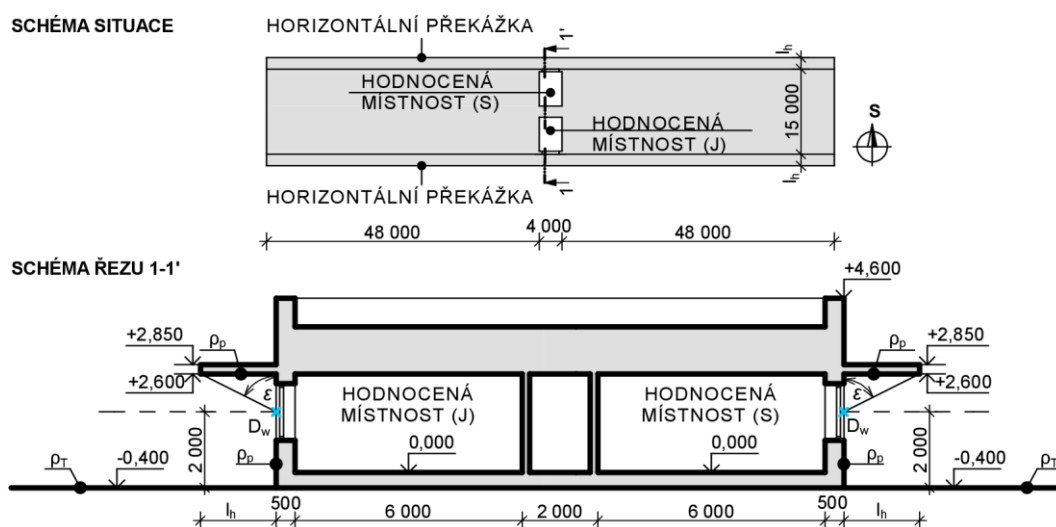
Poznámka: Rozměry h_v a d_v dle tab. 7.1.1. Půdorys hodnocené místnosti viz obr. 7.2.1. S – sever, J – jih

Obr. 7.1.1 Schéma situace a řezu zastínění hodnocené místnosti souvislou vertikální překážkou před oknem pro způsob zastínění I.1, I.2 – (autor)

Souvislá horizontální překážka nad oknem hodnocené místnosti (model zastínění II.1, schéma viz obr. 7.1.2) může představovat například průběžný balkon umístěný nad oknem místnosti nebo přesah střechy. Pro analýzy v dizertační práci je horizontální překážka nad oknem uvažována ve vzdálenosti 1 m od středu okna. Délky horizontální překážky nad oknem l_h [m] a jim odpovídající úhly stínění pro způsob zastínění II.1 jsou uvedeny v tab. 7.1.2.

Tab. 7.1.2: Délky souvislé horizontální překážky nad oknem hodnocené místnosti pro způsob zastínění II.1 (autor)

délka horizontální překážky l_h [m]	0,250	0,500	0,750	1,000	1,250	1,500	1,750	2,000	2,500	3,000	4,000	5,000
úhel stínění ε [°]	14,0	26,6	36,9	45,0	51,3	56,3	60,3	63,4	68,2	71,6	76,0	78,7



Poznámka: Rozměr l_h dle tab. 7.1.2. Půdorys hodnocené místnosti viz obr. 7.2.1. S – sever, J – jih

Obr. 7.1.2 Schéma situace a řezu zastínění hodnocené místnosti horizontální překážkou nad oknem pro způsob zastínění II.1 (autor)

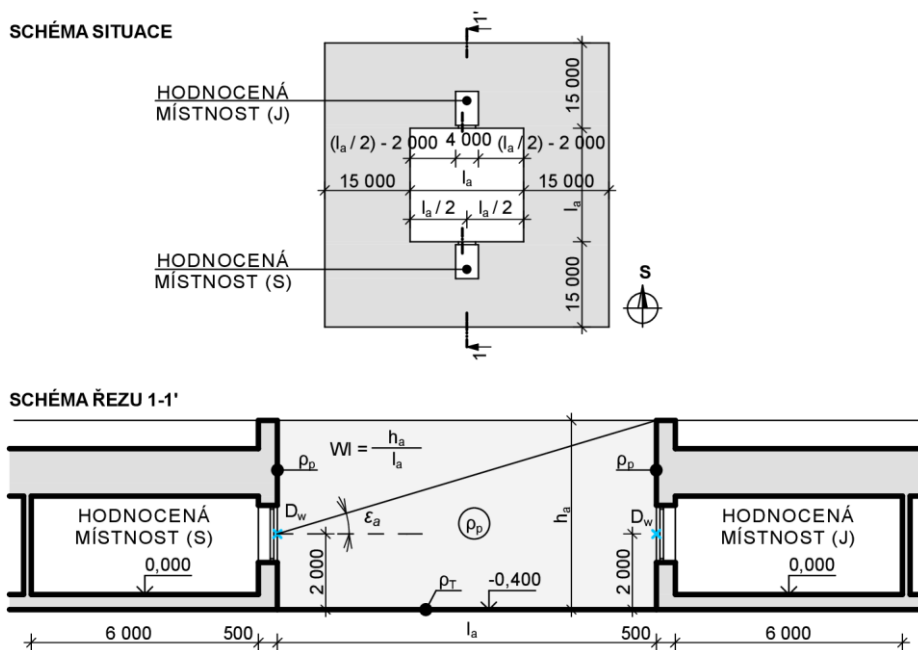
Čtvercový vnitroblok je uvažován výškami 10 m (způsob zastínění III.1), 20 m (způsob zastínění III.2) a 30 m (způsob zastínění III.3) s délkou vnitřní strany l_a dle obr. 7.1.3 a tab. 7.1.3. Uvedené výšky lze považovat za charakteristické výšky městských vnitrobloků v podmínkách České republiky. Kontrolní bod pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w je u všech způsobů zastínění vnitrobloky III.1 až III.3 umístěn ve výšce 2 m nad přilehlým terénem. Hodnoty činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině stanovené na stěně vnitrobloku (jedná se tedy také o činitel denní osvětlenosti D_w) závisí u čtvercových vnitrobloků na poměru WI [-] označovaném v anglické literatuře jako „well index“ (index atria) a pro čtvercový vnitroblok se stanoví pomocí vzorce (7.1.1) jako poměr výšky atria h_a a délky jeho vnitřní strany l_a :

$$WI = \frac{h_a}{l_a} \cdot 100 \% \quad (7.1.1)$$

- WI [-] – index atria (dle anglické literatury „well index“);
- h_a [m] – výška atria dle obr. 7.1.3;
- l_a [m] – délka vnitřní strany atria dle obr. 7.1.3 [40], [55], [56].

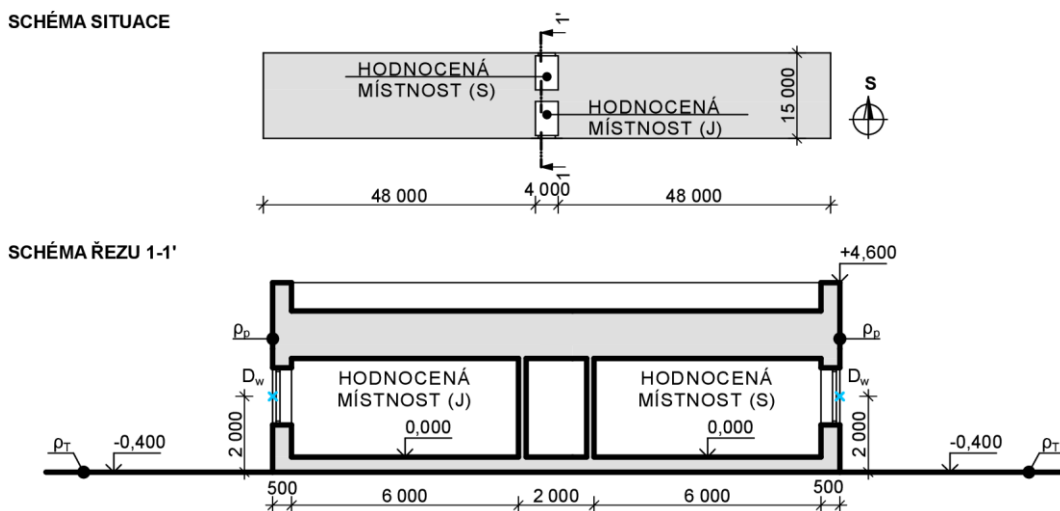
Tab. 7.1.3: Délky vnitřní strany čtvercového vnitrobloku pro způsob zastínění III.1 – III.3 (autor)

index atria WI [-]		délka vnitřní strany vnitrobloku l_a [m]									
		0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,250	1,500
výška vnitrobloku h_a [m]	10,00	80,000	40,000	26,667	20,000	16,000	13,333	11,429	10,000	8,000	6,667
	20,00	160,000	80,000	53,333	40,000	32,000	26,667	22,857	20,000	16,000	13,333
	30,00	240,000	120,000	80,000	60,000	48,000	40,000	34,286	30,000	24,000	20,000



Poznámka: Rozměry h_a a l_a dle tab. 7.1.3. Půdorys hodnocené místnosti viz obr. 7.2.1. S – sever, J – jih

Obr. 7.1.3 Schéma situace a řezu pro místnost ve čtvercovém vnitrobloku pro způsob zastínění III.1 až III.3 (autor)



Poznámka: Půdorys hodnocené místnosti viz obr. 7.2.1. S – sever, J – jih

Obr. 7.1.4 Schéma situace a řezu pro způsob zastínění IV – bez stínění (autor)

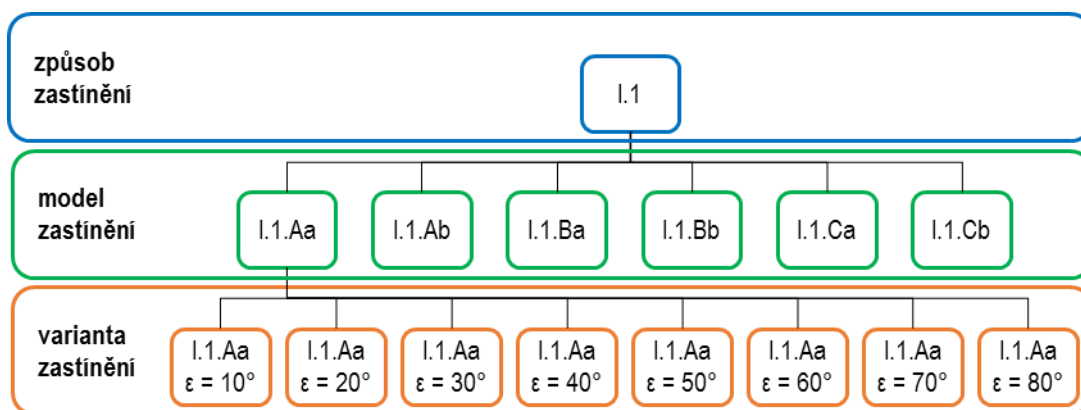
Denní osvětlení zastíněných místností je však z hlediska exteriéru ovlivněno nejen polohou stínících překážek, ale také světelně technickými vlastnostmi venkovních povrchů (např. činitel odrazu světla od překážky a od terénu). Pro jednotlivé způsoby zastínění je tak uvažováno šest modelů zastínění, které se vzájemně liší **kombinacemi činitelů odrazu světla od venkovních povrchů** dle tab. 7.1.4. Hodnota činitele odrazu světla od překážky a od budovy s hodnocenou místností jsou pro daný model zastínění shodné. Venkovní překážka a budova s hodnocenou místností jsou pro každý ze způsobů zastínění navrženy se třemi průměrnými hodnotami činitele odrazu světla $\rho_p = 0,20$, $\rho_p = 0,30$ a $\rho_p = 0,40$. Tyto hodnoty činitelů odrazu světla byly stanoveny na základě čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24]. Terén je pro každý ze způsobů zastínění navržen s průměrnými hodnotami činitele odrazu světla $\rho_T = 0,10$ a $\rho_T = 0,20$. Použité hodnoty činitele odrazu světla od terénu vychází z čl. A.20 normy ČSN 73 0580-1 [8] a z čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24]. Podle čl. A.20 normy ČSN 73 0580-1 [8] se při výpočtu denního osvětlení použije hodnota činitele odrazu světla od terénu 0,10 (trávník nebo živičný povrch), pokud není prokazatelně známá jiná hodnota činitele odrazu světla venkovního terénu. Norma ČSN EN 17037 [24] v čl. B.3.1 uvádí, že činitel odrazu světla venkovního terénu se obvykle volí hodnotou 0,20. Veškeré povrchy exteriéru jsou uvažovány jako difúzní.

Tab. 7.1.4: Modely zastínění pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov (autor)

způsob zastínění	terén	označení modelu zastínění		
		venkovní překážky, průčelí budov		
		A) $\rho_p = 0,20$	B) $\rho_p = 0,30$	C) $\rho_p = 0,40$
I.1) vertikální překážka před oknem ve vzdálenosti 7 m (obr. 7.1.1, tab. 7.1.1, obr. 7.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	I.1.Aa	I.1.Ba	I.1.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	I.1.Ab	I.1.Bb	I.1.Cb
II.1) vertikální překážka před oknem ve vzdálenosti 20 m (obr. 7.1.1, tab. 7.1.1, obr. 7.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	I.2.Aa	I.2.Ba	I.2.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	I.2.Ab	I.2.Bb	I.2.Cb
II.1) horizontální překážka nad oknem (obr. 7.1.2, tab. 7.1.2, obr. 7.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	II.1.Aa	II.1.Ba	II.1.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	II.1.Ab	II.1.Bb	II.1.Cb
III.1) čtvercový vnitroblok výšky 10 m (obr. 7.1.3, tab. 7.1.3, obr. 7.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	III.1.Aa	III.1.Ba	III.1.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	III.1.Ab	III.1.Bb	III.1.Cb
III.2) čtvercový vnitroblok výšky 20 m (obr. 7.1.3, tab. 7.1.3, obr. 7.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	III.2.Aa	III.2.Ba	III.2.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	III.2.Ab	III.2.Bb	III.2.Cb
III.3) čtvercový vnitroblok výšky 30 m (obr. 7.1.3, tab. 7.1.3, obr. 7.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	III.3.Aa	III.3.Ba	III.3.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	III.3.Ab	III.3.Bb	III.3.Cb

V rámci jednoho způsobu zastínění je tak navrženo šest modelů zastínění. Jeden model zastínění (kromě modelu zastínění IV – bez stínění) pak zahrnuje tolik variant zastínění, kolik je uvažováno pro daný způsob zastínění variant rozměrů dle tab. 7.1.1 až tab. 7.1.3 (viz schéma na obr. 7.1.5). To znamená:

- vertikální překážka před oknem (tj. modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb) – jeden model zastínění (např. model I.1.Aa – viz. obr. 7.1.5) zahrnuje 8 variant zastínění dle rozměrů stínící překážky v tab. 7.1.1;
- horizontální překážka nad oknem (tj. modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb) – jeden model zastínění (např. model II.1.Aa) zahrnuje 12 variant zastínění dle rozměrů stínící překážky v tab. 7.1.2;
- čtvercový vnitroblok (tj. modely zastínění III.1.Aa až III.3.Cb) – jeden model zastínění (např. model III.1.Aa) zahrnuje 10 variant zastínění dle rozměrů vnitrobloku v tab. 7.1.3.

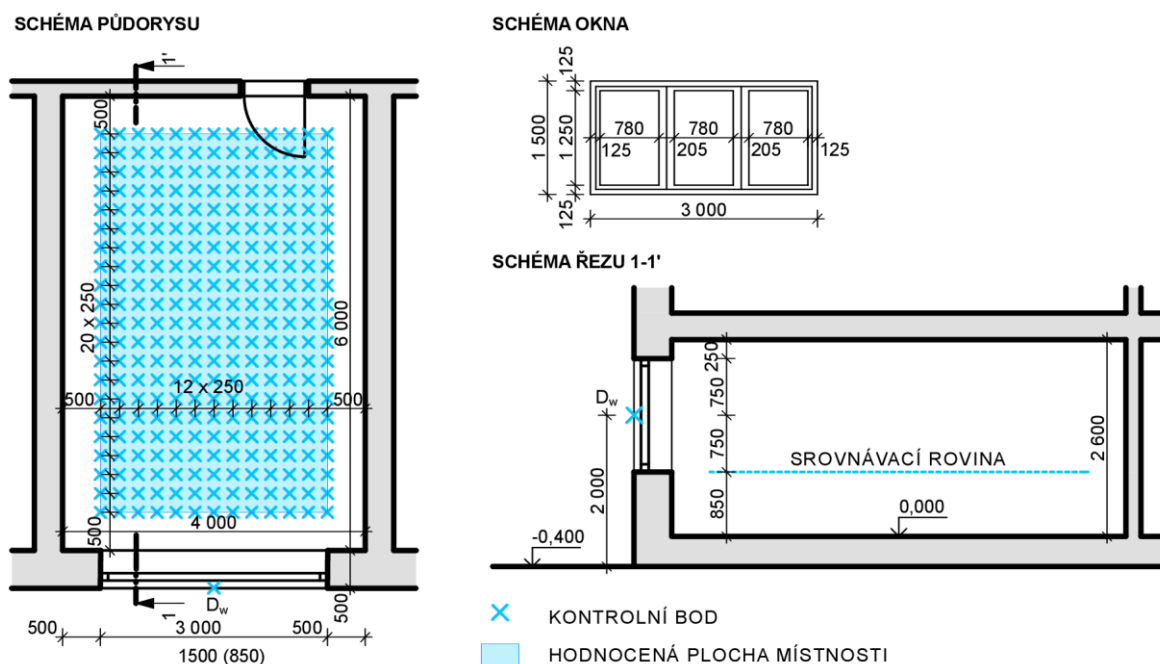


Obr. 7.1.5 Schéma k použitým termínům způsob stínění, model zastínění, varianta zastínění (autor)

7.2 NÁVRH MÍSTNOSTI PRO ANALYZOVÁNÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ UVNITŘ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Na základě poznatků uvedených v kapitole 4.3 byla pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov navržena **místnost rozměrů: šířka 4 m, hloubka 6 m, světlá výška 2,6 m** (viz obr. 7.2.1). Průměrné hodnoty činitele odrazu světla ρ [-] od vnitřních povrchů místnosti jsou zvoleny dle čl. 4.6.3 normy ČSN 73 0580-1 [8] následovně: **stěny $\rho = 0,50$; strop $\rho = 0,70$; podlaha $\rho = 0,30$** . Činitel odrazu světla od rámu okna je $\rho = 0,70$. Stěny, strop, podlaha a rám okna jsou uvažovány jako difúzní.

Denní osvětlení hodnocené místnosti je zajištěno **jedním oknem šířky 3,0 m, výšky 1,5 m a s výškou parapetu 0,85 m**. Plocha okna tak představuje 43,27 % plochy okenní stěny a 18,75 % podlahové plochy místnosti. Podíl zasklení na celkové ploše okna činí 65 %. Ve světelných simulacích je okno vymodelováno včetně rámu. Zasklení okna je uvažováno se světelnou propustností 0,70, což odpovídá světelné propustnosti běžného tepelně izolačního trojskla. Celkový činitel znečištění pro toto okno činí 0,855 dle čl. A.6 normy ČSN 73 0580-1 [8] (malé znečištění na vnitřní straně a střední znečištění na vnější straně).



Obr. 7.2.1 Schéma půdorysu a řezu hodnocené místnosti a umístění kontrolních bodů (autor)

Pro stanovení hladin osvětleností ve smyslu ČSN EN 17037 [24] je předpokládáno, že místnost se nachází v **Praze** a její denní osvětlení je zajištěno oknem s **orientací na sever nebo na jih**. Hladiny osvětleností jsou stanoveny bez uvažování žaluzií, slunolamů nebo jiných stínících prostředků.

Uvnitř místnosti jsou ve výšce **850 mm nad podlahou umístěny na horizontální srovnávací rovině kontrolní body**. Krajní body jsou umístěny ve vzdálenosti 0,5 m od vnitřních povrchů stěn místnosti (viz obr. 7.2.1) dle čl. B.2 normy ČSN EN 17037 [24]. Vzájemná rozteč hodnocených bodů byla zvolena 0,25 m pro možnost přesnějšího vyhodnocení v rámci dizertační práce. Maximální přípustná vzdálenost bodů ve srovnávací rovině pro místnost rozměrů 4 m × 6 m je přitom rovna 1,75 m dle čl. B.2 normy ČSN EN 17037 [24]. Celkově je v horizontální rovině umístěno 273 kontrolních bodů. **Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w** je stanovena v bodě umístěném v rovině vnějšího líce průčelí v ose okna a v polovině jeho výšky, což je v tomto případě ve výšce **2 m nad terénem**. Výška 2 m nad terénem je současně minimální výškou, ve které se hodnota činitele denní osvětlenosti D_w stanovuje dle čl. B.2 normy ČSN 73 0580-1 [8].

7.3 HODNOTÍCÍ KRITÉRIA

Přístup světla k průčelí budovy je v dizertační práci hodnocen pomocí **činitele denní osvětlenosti D_w** roviny zasklení okna z vnější strany (tj. hodnotící kritérium dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8]). Vliv činitele odrazu světla od terénu a venkovních překážek na hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w je vyhodnocen pomocí **relativní změny Δd_{D_w} [%]** hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w podle vzorce (7.3.1).

$$\Delta d_{D_w} = \frac{D_{w,k} - D_{w,ref}}{D_{w,ref}} \cdot 100 \quad (7.3.1)$$

- Δd_{D_w} [%] – relativní změna činitele denní osvětlenosti vlivem změny činitele odrazu světla venkovních povrchů stanovená na základě hodnot činitele denní osvětlenosti pro referenční a porovnávaný model pro stejný úhel stínění nebo stejný index atria;
- $D_{w,k}$ [%] – hodnota činitele denní osvětlenosti D_w stanovená pro porovnávaný model při daném úhlu stínění ε nebo indexu WI (porovnávaný model dle tab. 7.6.2 až tab. 7.6.5, tab. 7.6.7 a tab. 7.6.8);
- $D_{w,ref}$ [%] – hodnota činitele denní osvětlenosti D_w stanovená pro referenční model při daném úhlu stínění nebo indexu WI (referenční model dle tab. 7.6.2 až tab. 7.6.5, tab. 7.6.7 a tab. 7.6.8).

Ze dříve publikovaného článku [128] i z provedených měření na modelu (kapitoly 5.4 a 6) vyplynulo, že hodnota činitele denní osvětlenosti D_w má pro různé typy stínících překážek odlišnou vypovídající hodnotu z hlediska denního osvětlení uvnitř zastíněných místností. Dizertační práce se proto zabývá **komparativní analýzou kvanta denního osvětlení uvnitř zastíněných místností v závislosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w** . Hodnocení kvanta denního osvětlení uvnitř místnosti je ve smyslu čl. 5.1.3, přílohy A.1, A.2, B.1 až B.4 normy ČSN EN 17037 [24] založeno na následujících kritériích:

- D_i [%] – **činiteli denní osvětlenosti** v kontrolním bodě i uvnitř místnosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16;
- $F_{time, E, i}$ [%] – **podíl doby s denním světlem, kdy je v kontrolním bodě i dosaženo dané osvětlenosti E** .

Činitel denní osvětlenosti je tradičně používán pro kvantitativní hodnocení denního osvětlení místností. Kritérium $F_{time, E, i}$ lze pokládat za dobu autonomie denního osvětlení. Na rozdíl od autonomie denního osvětlení, která se stanovuje pro provozní dobu místnosti, se kritérium $F_{time, E, i}$ stanovuje pro dobu s denním světlem ve smyslu čl. B.4 normy ČSN EN 17037 [24].

Norma ČSN EN 17037 [24] stanovuje požadavky na příspěvek denního světla v prostoru pro tři doporučené úrovně: minimální, střední a velkou. V současnosti (listopad 2019) není v české legislativě a normách stanoveno, pro jakou z těchto tří úrovní má být příspěvek denního světla v prostoru hodnocen v závislosti na typu vnitřního prostoru. Podle zahraničních dokumentů [2], [26] a [28] je pro kancelářské prostory požadována osvětlenost denním světlem alespoň 300 lx, což odpovídá minimální úrovni požadavků na příspěvek denního světla podle ČSN EN 17037 [24]. Pro místnosti se svislými osvětlovacími otvory je v příloze A normy ČSN EN 17037 [24] stanoveno pro minimální úroveň příspěvku denního světla současně:

- alespoň v 50 % plochy hodnoceného prostoru dodržení cílové osvětlenosti E_T o minimální hodnotě 300 lx nejméně po 50 % doby s denním světlem, což pro Českou republiku odpovídá cílové hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_T = 2,0$ %;

- alespoň v 95 % plochy hodnoceného prostoru dodržení minimální cílové osvětlenosti E_{TM} o minimální hodnotě 100 lx nejméně po 50 % doby s denním světlem, což pro Českou republiku odpovídá cílové minimální hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_{TM} = 0,7 \%$.

Z hlediska vyhodnocení příspěvku denního světla podle přílohy A normy ČSN EN 17037 [24] má být v části prostoru pro hodnocení příspěvku denního světla stanovena část plochy srovnávací roviny F_{plane} [%], ve které je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo hladin osvětleností. V rámci dizertační práce bude místo části plochy F_{plane} stanoven **procentuální podíl bodů F_{point} [%] na srovnávací rovině, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo hladin osvětleností po stanovenou část doby s denním světlem.** Hodnota F_{point} se stanoví dle vzorce (7.3.2).

$$F_{point} = \frac{N_{point}}{n_{point}} \cdot 100 \% \quad (7.3.2)$$

- F_{point} [%] – procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo osvětlenosti po stanovenou část doby s denním světlem ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24];
- N_{point} [ks] – celkový počet kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo osvětlenosti po stanovenou část doby s denním světlem ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24];
- n_{point} [ks] – celkový počet kontrolních bodů uvnitř místnosti.

Pomocí hodnotícího kritéria F_{point} tedy bude pro hodnocenou místnost stanoven:

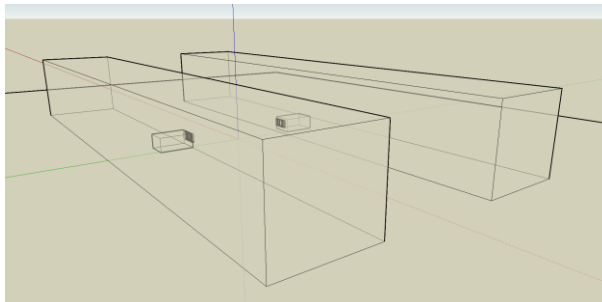
- **procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti $F_{point, 100 \text{ lx}, 50 \%}$ [%],** ve kterých je dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem;
- **procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti $F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ [%],** ve kterých je dosaženo osvětlenosti alespoň 300 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem;
- **procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti $F_{point, 0,7 \%}$ [%],** ve kterých je dosaženo činitele denní osvětlenosti alespoň 0,7 %;
- **procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti $F_{point, 2,0 \%}$ [%],** ve kterých je dosaženo činitele denní osvětlenosti alespoň 2,0 %.

7.4 SIMULACE DENNÍHO OSVĚTLENÍ

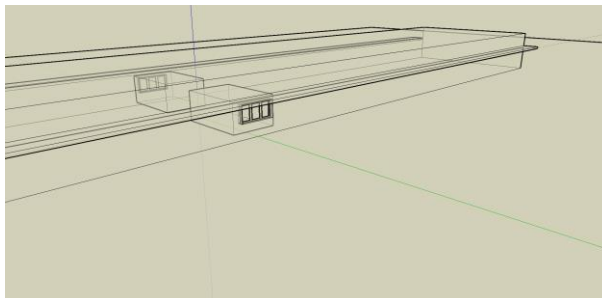
Simulace denního osvětlení byly provedeny v programu Daysim pro parametry výpočtu uvedené v tab. 5.1.1. Světlopropustné povrchy byly vymodelovány jako difúzní. Pro simulace v programu Daysim je dále nutné povrchy modelu zadat jako spektrálně neutrální ([107] str. 48). Hodnoty činitele denní osvětlenosti byly vypočteny pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16. Výpočet denních osvětleností v průběhu celého roku byl proveden pomocí dynamické simulace denního osvětlení využívající kombinaci koeficientů denního světla a přímého testování stínů („dynamic daylight simulations – daylight coefficient file format combined with direct shadow testing“). Tato metoda simulace denního osvětlení je blíže

popsána a validována v [110]. Jednotlivé způsoby zastínění byly vymodelovány v programu SketchUp [140] (viz příklady na obr. 7.4.1) a geometrie byla exportována do programu Daysim pomocí doplňku programu SU2DS [142]. V rámci jedné simulace byly současně provedeny výpočty pro místnost se severně i jižně orientovaným oknem. Pro simulace denního osvětlení bylo pro jednotlivé modely zastínění uvažováno s parametry uvedenými v tab. 7.1.1 až tab. 7.1.4 a na obr. 7.1.1 až obr. 7.1.4. Vstupní soubory pro simulace denního osvětlení jsou obsahem přílohy 12.8.

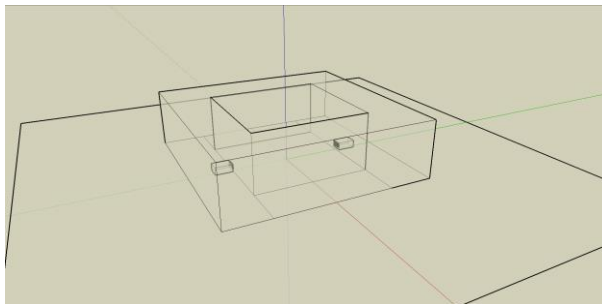
Vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti, úhel stínění $\varepsilon = 30^\circ$ (způsob zastínění I.2)



Horizontální překážka s délkou vyložení 2 m nad oknem hodnocené místnosti (způsob zastínění II.1)



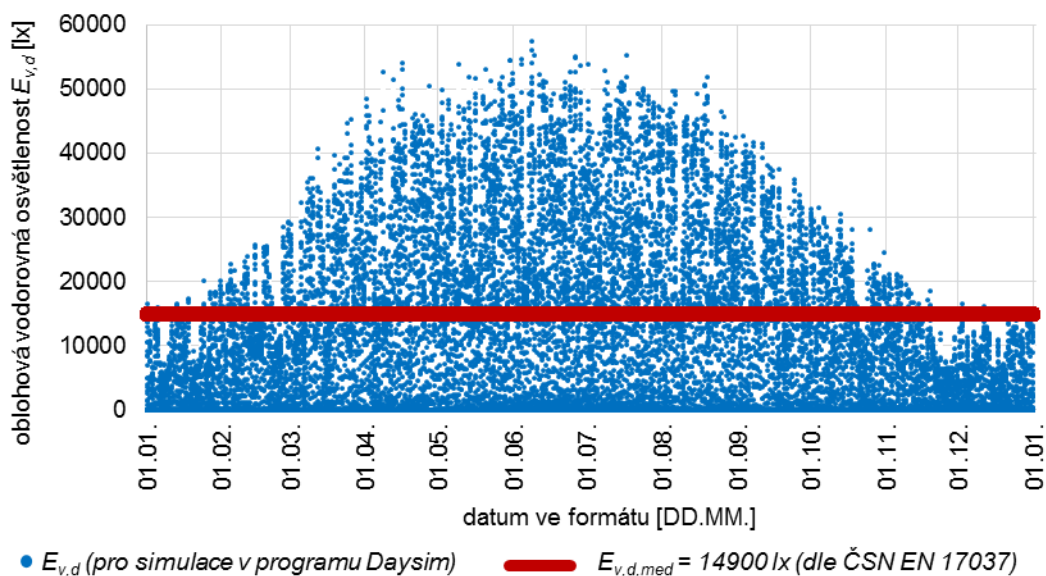
Vnitroblok výšky 20 m s indexem atria $WI = 0,5$ (způsob zastínění III.2)



Obr. 7.4.1 Modely zastínění hodnocené místnosti (autor)

Pro dynamické simulace denního osvětlení byla použita roční klimatická data pro **Prahu** dostupná v rámci databáze programu EnergyPlus [144]. Kromě klimatických údajů pro Prahu jsou v databázi programu EnergyPlus zahrnuty pro Českou republiku klimatické údaje již pouze pro Ostravu. Dynamické simulace byly provedeny pro celý rok s časovým krokem 20 minut, přičemž dle čl. 5.3.1 normy ČSN EN 17037 [24] se hladiny osvětlenosti v průběhu roku mají stanovovat s krokem 1 hodina nebo menším. Pro každý z hodnocených bodů tak bylo v jedné simulaci stanoveno 26280 hodnot denních osvětleností. Doba s denním světlem je ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24] dána polovinou hodnot oblohových osvětleností dostupných pro celý rok. Při časovém kroku simulace 1 hodina, představuje doba s denním světlem 4380 hodnot [24]. Při časovém kroku simulace 20 minut je pak doba s denním světlem

vymezena souborem 13140 hodnot osvětleností pro každý kontrolní bod. Oblohové vodorovné osvětlenosti použité pro simulace denního osvětlení s krokem výpočtu 20 minut jsou zobrazeny v grafu na obr. 7.4.2. Na základě sestupně seřazených 26280 hodnot oblohových vodorovných osvětleností bylo stanoveno 13140 nejvyšších hodnot osvětleností. Pro hodnocené body byly z datového souboru hodnot vyselektovány osvětlenosti stanovené v časech, pro které bylo zjištěno 13140 nejvyšších hodnot oblohových vodorovných osvětleností.



Poznámka: Oblohové vodorovné osvětlenosti stanoveny v grafu na základě datového souboru programu Daysim s využitím ustanovení Poznámky 1 k čl. B.4 normy ČSN EN 17037 [24].

Obr. 7.4.2 Oblohové vodorovné osvětlenosti pro dynamické simulace denního osvětlení v programu Daysim s časovým krokem 20 minut (autor podle datového souboru programu Daysim)

Celkově bylo pro modely zastínění dle tab. 7.1.4 provedeno pro vertikální překážku 96 simulací denního osvětlení (tj. modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb), pro horizontální překážku 72 simulací denního osvětlení (tj. modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb), pro čtvercové vnitrobloky 180 simulací denního osvětlení (tj. modely zastínění III.1.Aa až III.3.Cb) a pro místnost bez stínění 6 simulací denního osvětlení (tj. modely zastínění IV.Aa až IV.Cb). Pro modely zastínění dle tab. 7.1.4 tak bylo uskutečněno celkově 348 simulací denního osvětlení. V rámci jedné simulace byly pro jednu hodnocenou místnost stanoveny hodnoty denních osvětleností a činitele denní osvětlenosti pro 273 bodů horizontální roviny uvnitř místnosti a pro jeden bod ve vertikální rovině průčelí budovy. V každé z provedených simulací denního osvětlení bylo pro jednu hodnocenou místnost celkově stanoveno: jedna hodnota činitele denní osvětlenosti D_w v kontrolním bodě ve vertikální rovině průčelí budovy a dále v kontrolních bodech v horizontální rovině uvnitř místnosti 273 hodnot činitele denní osvětlenosti a 7 174 440 osvětleností.

7.5 VÝSLEDKY SIMULACÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ PRO NAVRŽENÉ MODEL Y ZASTÍNĚNÍ

Pro jednotlivé modely zastínění jsou v příloze 12.6 uvedeny hodnoty hodnotících kritérií činitele denní osvětlenosti D_w a **procentuálního podílu kontrolních bodů uvnitř místnosti $F_{point, 100 \text{ lx}, 50 \%}$, $F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ [%] a $F_{point, 2,0 \%}$ [%]**.

7.6 ZÁVISLOST Činitele denní osvětlenosti D_w NA KRITÉRIU POPISUJÍCÍM STÍNĚNÍ PŘEKÁŽKOU PRO VYBRANÉ REFLEKTANCE VENKOVNÍCH POVRCHŮ

7.6.1 Diagramy a regresní modely popisující závislost činitele denní osvětlenosti D_w na parametru stínící překážky

Pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w může být v podmínkách souvislé řadové zástavby při činiteli jasu $k_y = 0,1$ pro terén i průběžnou stínící překážku použit diagram uvedený na obrázku B.2 v normě ČSN 73 0580-1 [8]. Prakticky je ovšem stanovení činitele jasu k_y překážky a terénu pro konkrétní hodnoty činitele odrazu světla poměrně obtížné. V případě souvislé řadové zástavby je možné poměr jasu překážky a terénu stanovit pomocí metody publikované J. Kaňkou ([71] str. 31 – 36; [75]). V průběhu zpracování dizertační práce byl výpočet poměru jasu také doplněn do programu Světlo+. V převážné většině dnes používaných programů pro výpočet denního osvětlení budov jsou však světelně technické vlastnosti povrchů definovány pomocí činitele odrazu světla namísto činitele jasu. Rovněž norma ČSN EN 17037 [24] se z hlediska výpočtů denního osvětlení a definování povrchů zmiňuje pouze o činiteli odrazu světla a nikoliv o činiteli jasu. Dizertační práce se proto zabývá **sestavením diagramů pro stanovení hodnot činitele denní osvětlenosti D_w ve výšce 2 m nad terénem pro vybrané typy stínících překážek a pro vybrané hodnoty činitele odrazu světla od překážky a terénu.**

Pro jednotlivé modely zastínění hodnocené místnosti byly na základě hodnot činitele denní osvětlenosti D_w uvedených v příloze 12.6 a za využití regrese polynomem 3. stupně sestaveny pomocí programu Microsoft Excel diagramy závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na parametru charakterizujícím zastínění danou překážkou. V diagramech je vynesena na ose x úhel stínění ε nebo index atria WI a na ose y je vynesena hodnota činitele denní osvětlenosti D_w . Součástí diagramů jsou také rovnice regrese polynomem 3. stupně společně s koeficientem determinace R^2 . U vertikální překážky ve vzdálenosti 7 m a 20 m (modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb) a u horizontální překážky (modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb) charakterizuje zastínění danou překážkou úhel stínění ε . V případě vnitrobloků (modely zastínění III.1.Aa až III.3.Cb) je stanovena závislost hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI . Sestavené diagramy a regresní modely jsou zobrazeny na obr. 7.6.1 až obr. 7.6.12 a jejich přehled je uveden v tab. 7.6.1. V diagramech na obr. 7.6.1 až obr. 7.6.12 jsou také vyznačeny minimální požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w pro kategorie 1 až 4 dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8].

Reálné zastíňovací situace obvykle bývají komplexnější, než je možné vyjádřit pomocí charakteristických stínících překážek. **Použití sestavených diagramů se proto jeví vhodné zejména v přípravné fázi projektu pro předběžné vyhodnocení očekávatelného vlivu novostavby na okolní zástavbu, přičemž je nutné vždy zvážit, nakolik reálná situace odpovídá předpokladům, pro které byly diagramy sestaveny.**

Tab. 7.6.1: Přehled diagramů a regresních modelů pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w ve výšce 2 m nad terénem pro způsoby zastínění I.1 až III.3 (autor)

způsob zastínění	terén	regresní model pro stanovení hodnoty D_w ve výšce 2 m nad terénem			diagram, rovnice regresních modelů
		venkovní překážky, průčelí budov			
		A) $\rho_p = 0,20$	B) $\rho_p = 0,30$	C) $\rho_p = 0,40$	
I.1) vertikální překážka před oknem ve vzdálenosti 7 m (obr. 7.1.1, tab. 7.1.1)	a) $\rho_T = 0,10$	I.1.Aa.R	I.1.Ba.R	I.1.Ca.R	obr. 7.6.1
	b) $\rho_T = 0,20$	I.1.Ab.R	I.1.Bb.R	I.1.Cb.R	obr. 7.6.2
II.1) vertikální překážka před oknem ve vzdálenosti 20 m (obr. 7.1.1, tab. 7.1.1)	a) $\rho_T = 0,10$	I.2.Aa.R	I.2.Ba.R	I.2.Ca.R	obr. 7.6.3
	b) $\rho_T = 0,20$	I.2.Ab.R	I.2.Bb.R	I.2.Cb.R	obr. 7.6.4
II.1) horizontální překážka nad oknem (obr. 7.1.2, tab. 7.1.2)	a) $\rho_T = 0,10$	II.1.Aa.R	II.1.Ba.R	II.1.Ca.R	obr. 7.6.5
	b) $\rho_T = 0,20$	II.1.Ab.R	II.1.Bb.R	II.1.Cb.R	obr. 7.6.6
III.1) čtvercový vnitroblok výšky 10 m (obr. 7.1.3, tab. 7.1.3)	a) $\rho_T = 0,10$	III.1.Aa.R	III.1.Ba.R	III.1.Ca.R	obr. 7.6.7
	b) $\rho_T = 0,20$	III.1.Ab.R	III.1.Bb.R	III.1.Cb.R	obr. 7.6.8
III.2) čtvercový vnitroblok výšky 20 m (obr. 7.1.3, tab. 7.1.3)	a) $\rho_T = 0,10$	III.2.Aa.R	III.2.Ba.R	III.2.Ca.R	obr. 7.6.9
	b) $\rho_T = 0,20$	III.2.Ab.R	III.2.Bb.R	III.2.Cb.R	obr. 7.6.10
III.3) čtvercový vnitroblok výšky 30 m (obr. 7.1.3, tab. 7.1.3)	a) $\rho_T = 0,10$	III.3.Aa.R	III.3.Ba.R	III.3.Ca.R	obr. 7.6.11
	b) $\rho_T = 0,20$	III.3.Ab.R	III.3.Bb.R	III.3.Cb.R	obr. 7.6.12

Z výsledků simulací denního osvětlení, které jsou uvedeny v příloze 12.6, a z diagramů na obr. 7.6.1 až obr. 7.6.12 pro jednotlivé stínící překážky vyplývá následující týkající se hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w :

7.6.2 Činitel denní osvětlenosti D_w při stínění místnosti průběžnou vertikální překážkou před oknem

Úhel ε_p vymezený patou stínící překážky dle obr. 7.1.1 je pro vertikální překážku ve vzdálenosti 7 m od hodnocené místnosti (modely zastínění I.1.Aa až I.1.Cb) zhruba o 10° vyšší než pro překážku ve vzdálenosti 20 m (modely zastínění I.2.Aa až I.2.Cb). Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w by se při konstantním úhlu stínění ε měla snižovat s rostoucí velikostí úhlu ε_p [84], čemuž odpovídají i hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanovené simulací v programu Daysim. Výjimkou jsou hodnoty vypočtené pro úhly stínění ε o hodnotách 10° a 20° u modelů zastínění I.1.Ca a I.2.Ca (viz příloha 12.6). V porovnání s překážkou ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti (model zastínění I.2.Ca) byla pro překážku ve vzdálenosti 7 m od hodnocené místnosti (model zastínění I.1.Ca) stanovena simulací denního osvětlení hodnota činitele denní osvětlenosti D_w vyšší o 0,27 procentního bodu (p. b.) pro úhel stínění $\varepsilon = 10^\circ$ a o 0,05 p. b. pro úhel stínění $\varepsilon = 20^\circ$. Uvedené rozdíly v hodnotách činitele denní osvětlenosti v řádech desetin procentního bodu lze považovat za zanedbatelné i s ohledem na to, že hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w se dle čl. 4.1.8 normy ČSN 73 580-1 [8] mají zaokrouhlovat na celá procenta.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanovené pro shodné kombinace povrchů a pro shodné úhly stínění vertikální překážku ve vzdálenosti 7 m a 20 m od hodnocené místnosti se do úhlu stínění 50° liší o méně než 1,5 p. b. Například pro terén s činitelem odrazu světla $\rho_T = 0,20$ a překážku s činitelem odrazu světla $\rho_T = 0,40$ byla při úhlu stínění $\varepsilon = 50^\circ$ stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti $D_w = 21,20\%$ pro vertikální překážku ve vzdálenosti 7 m od hodnocené místnosti (výsledky v příloze 12.6 pro model zastínění I.1.Cb) a $D_w = 22,51\%$ pro vertikální překážku ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti (výsledky v příloze 12.6 pro model zastínění I.2.Cb). V České republice by dle kategorií uvedených v tabulce B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8] měly být ve stíněných centrech historických měst podmínky, při kterých úhel stínění nepřekročí 45° při činiteli jasu $k_y = 0,1$ pro terén i průběžnou překážku. Při zastínění vertikální překážkou do úhlu stínění $\varepsilon = 45^\circ$ není vliv úhlu ε_p (obr. 7.1.1) na hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w příliš výrazný. **Diagramy na obr. 7.6.1 až obr. 7.6.4 lze tedy použít nejen pro vertikální stínící překážky ve vzdálenosti 7 m a 20 m od hodnocené místnosti, ale i pro překážky umístěné v jiné vzdálenosti od hodnocené místnosti. Z hlediska hodnocení na stranu bezpečnou (tzn. stanovení nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w při daném úhlu stínění ε) lze při pochybnostech doporučit použití diagramů na obr. 7.6.1 a obr. 7.6.2 pro vertikální překážku ve vzdálenosti 7 m od hodnocené místnosti.**

U vertikální překážky před oknem při úhlech stínění ε do 50° dojde zvýšením hodnoty činitele odrazu světla od terénu ρ_T z hodnoty 0,10 na hodnotu 0,20 k relativnímu navýšení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w v bodě 2 m nad terénem zhruba o 7 % až 12 % (viz tab. 7.6.2). Například pro model zastínění I.2.Ba je při úhlu stínění $\varepsilon = 30^\circ$ hodnota činitele denní osvětlenosti D_w rovna 30,56 %, ale pro model zastínění I.2.Bb je při stejném úhlu stínění hodnota činitele denní osvětlenosti 33,52 % (viz příloha 12.6). Z uvedeného příkladu plyne, že ve výpočtu použítá hodnota činitele odrazu světla od terénu může ovlivnit vyhodnocení splnění požadavků na přístup světla k průčelí budovy dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8]. Zatímco pro model zastínění I.2.Ba by hodnota činitele denní osvětlenosti D_w byla nižší než je požadovaných 32 % pro kategorii 2 dle ČSN 73 0580-1 [8], pro model zastínění I.2.Bb došlo zvýšením hodnoty činitele odrazu světla od terénu k nárůstu hodnoty činitele denní osvětlenosti nad minimální požadovanou hodnotu. Z hodnot relativních změn Δd_{D_w} činitele denní osvětlenosti D_w uvedených v tab. 7.6.2 je patrné, že s **rostoucím úhlem stínění ε od 10° do 70° dochází k navýšení relativních změn Δd_{D_w} v důsledku změny činitele odrazu světla od terénu při konstantním činiteli odrazu světla od průčelí budov. U vertikální překážky s menším úhlem ε_p k patě překážky (tj. modely zastínění I.2.Aa až I.2.Cb) dochází zvýšením činitele odrazu světla od terénu při nezvýšení činitele odrazu světla od průčelí budov k vyššímu relativnímu navýšení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w než u překážky s vyšším úhlem ε_p (tj. modely zastínění I.1.Aa až I.1.Cb).**

Zvýšení činitele odrazu světla od průčelí budovy ρ_p z hodnoty 0,2 na hodnotu 0,3 při nezměnění činitele odrazu světla od terénu vede u vertikální překážky při úhlu stínění ε v rozmezí 30° až 50° k relativnímu nárůstu hodnoty činitele denní osvětlenosti zhruba mezi 5 % a 9 % (viz tab. 7.6.3). Při hodnotě činitele odrazu světla od průčelí budovy $\rho_p = 0,4$ namísto hodnoty 0,2 se při zachování činitele odrazu světla od terénu zvýší hodnota činitele denní osvětlenosti D_w v rozmezí zhruba 10 % až 19 % při úhlu stínění od 30° do 50° (viz tab. 7.6.3). Například při úhlu stínění $\varepsilon = 30^\circ$ u vertikální překážky ve vzdálenosti 7 m od hodnoceného bodu došlo

změnou činitele odrazu světla od průčelí budov z hodnoty 0,2 na hodnotu 0,4 při činiteli odrazu světla od terénu 0,10 ke zvýšení činitele denní osvětlenosti D_w z hodnoty 28,94 % (výsledky v příloze 12.6 pro model zastínění I.1.Aa) na hodnotu 31,79 % (výsledky v příloze 12.6 pro model zastínění I.1.Ca), což představuje relativní nárůst 9,85 %. **S rostoucím úhlem stínění ε od 10° do 70° dochází k navýšení relativních změn Δd_{DW} v důsledku změny činitele odrazu světla od průčelí budovy při konstantním činiteli odrazu světla od terénu (viz tab. 7.6.3). Relativní změna Δd_{DW} činitele odrazu světla od průčelí budovy při konstantním činiteli odrazu světla od terénu je při shodném úhlu stínění ε vyšší u překážky s vyšším úhlem ε_p .**

Tab. 7.6.2: Relativní změny Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu při zachování činitele odrazu světla od budov – modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb (autor)

model zastínění		relativní změna činitele denní osvětlenosti D_w							
		Δd_{DW} [%]							
referenční	porovnávaný	úhel stínění ε [°]							
		10	20	30	40	50	60	70	80
I.1.Aa	I.1.Ab	7,09	7,23	7,33	7,90	9,17	11,28	15,04	15,09
I.1.Ba	I.1.Bb	7,34	7,39	7,49	8,33	9,39	11,45	14,80	24,29
I.1.Ca	I.1.Cb	7,40	7,55	7,80	8,46	8,94	11,38	14,67	18,78
I.2.Aa	I.2.Ab	8,94	9,25	9,42	10,32	11,39	13,63	16,50	16,17
I.2.Ba	I.2.Bb	9,34	9,13	9,69	10,33	11,40	13,74	15,43	19,17
I.2.Ca	I.2.Cb	9,34	9,40	10,01	10,62	11,88	13,77	15,53	18,21

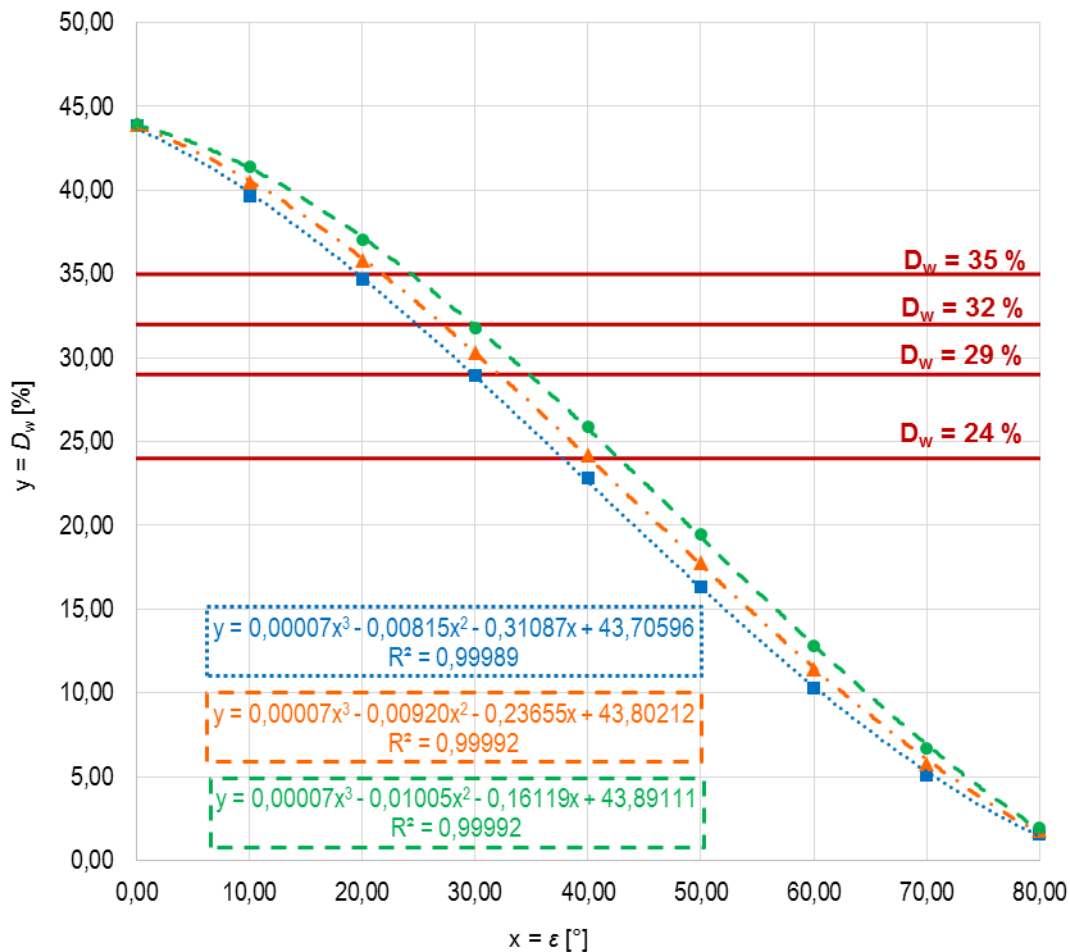
Poznámka: Modely zastínění uvažovány dle obr. 7.1.1, tab. 7.1.1, tab. 7.1.4. Relativní změny Δd_{DW} stanoveny na základě dat v příloze 12.6.

Tab. 7.6.3: Relativní změna Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od budov při zachování činitele odrazu světla od terénu – modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb (autor)

model zastínění		relativní změna činitele denní osvětlenosti D_w							
		Δd_{DW} [%]							
referenční	porovnávaný	úhel stínění ε [°]							
		10	20	30	40	50	60	70	80
I.1.Aa	I.1.Ba	2,12	3,31	4,73	6,36	8,81	11,28	13,48	11,32
I.1.Aa	I.1.Ca	4,42	6,83	9,85	13,60	19,02	24,81	30,47	23,90
I.1.Ab	I.1.Bb	2,36	3,47	4,89	6,79	9,02	11,45	13,24	20,22
I.1.Ab	I.1.Cb	4,71	7,15	10,33	14,19	18,77	24,91	30,05	27,87
I.2.Aa	I.2.Ba	1,35	2,91	3,87	5,72	8,04	9,90	11,47	7,66
I.2.Aa	I.2.Ca	2,93	5,68	8,36	12,07	16,37	21,70	25,17	21,49
I.2.Ab	I.2.Bb	1,72	2,80	4,13	5,72	8,05	10,01	10,44	10,44
I.2.Ab	I.2.Cb	3,31	5,83	8,95	12,37	16,87	21,85	24,13	23,63

Poznámka: Modely zastínění uvažovány dle obr. 7.1.1, tab. 7.1.1, tab. 7.1.4. Relativní změny Δd_{DW} stanoveny na základě dat v příloze 12.6.

Pokud by došlo ke zvýšení činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,10 na hodnotu 0,20 při současném zvýšení činitele odrazu světla průčelí budov z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,40, došlo by například u vertikální překážky ve vzdálenosti 20 m od hodnoceného bodu při úhlu stínění $\varepsilon = 30^\circ$ k navýšení činitele denní osvětlenosti D_w z 29,42 % na 35,07 % (výsledky v příloze 12.6 pro modely zastínění I.2.Aa a I.2.Cb). Hodnota činitele denní osvětlenosti by se tedy zvýšila o 5,65 p. b., což představuje relativní zvýšení hodnoty o 19,20 %.



modely zastínění

■ I.1.Aa

▲ I.1.Ba

● I.1.Ca

regresní modely

⋯ I.1.Aa.R

- - I.1.Ba.R

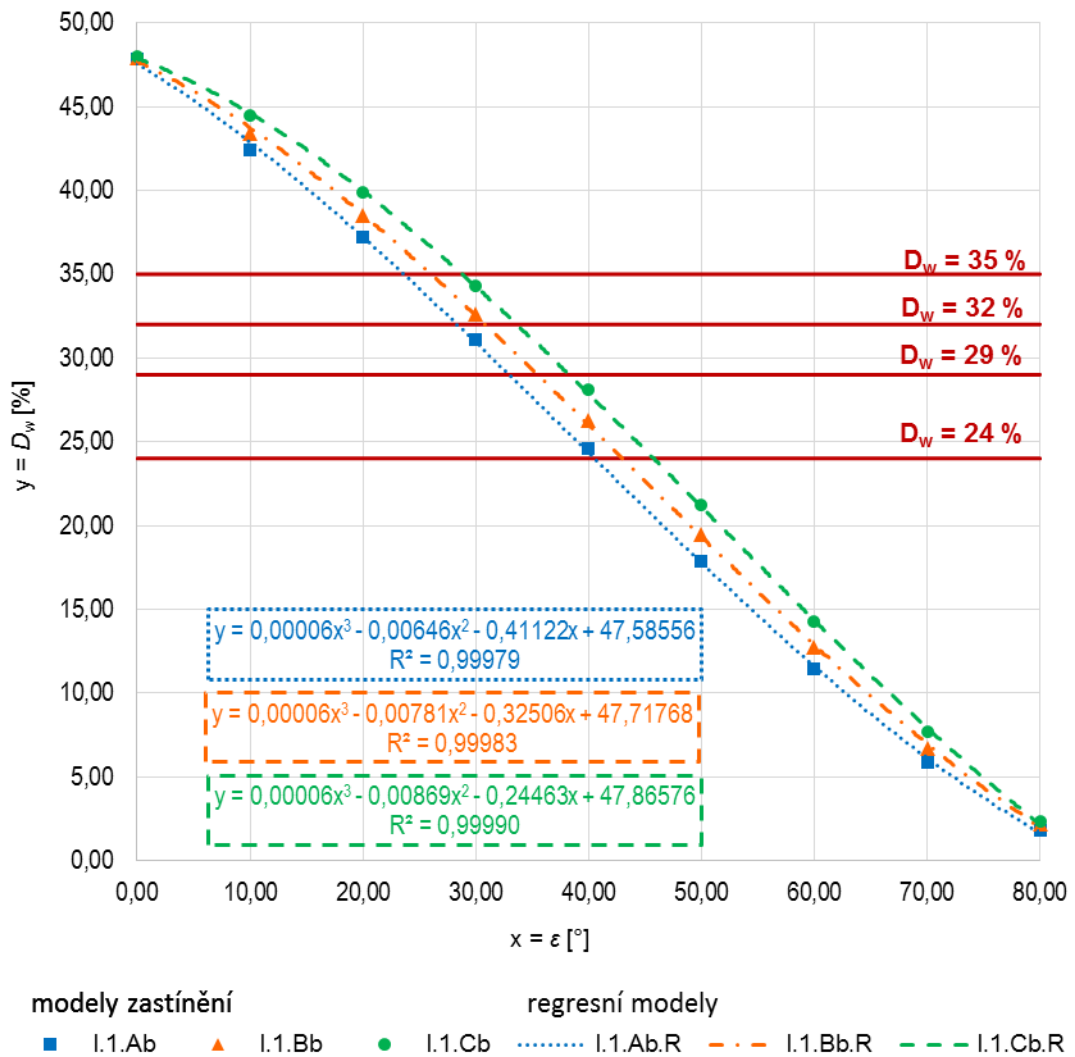
- - I.1.Ca.R

Poznámky:

- vertikální překážka ve vzdálenosti 7 m od budovy s hodnocenou místností dle obr. 7.1.1 (výška vertikální překážky i budovy s hodnocenou místností je shodná);
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem;
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	I.1.Aa	I.1.Ba	I.1.Ca
regresní model	I.1.Aa.R	I.1.Ba.R	I.1.Ca.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,10	0,10	0,10
činitel odrazu světla od překážky a budovy s hodnocenou místností ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.1 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ϵ pro modely zastínění I.1.Aa až I.1.Ca (autor)

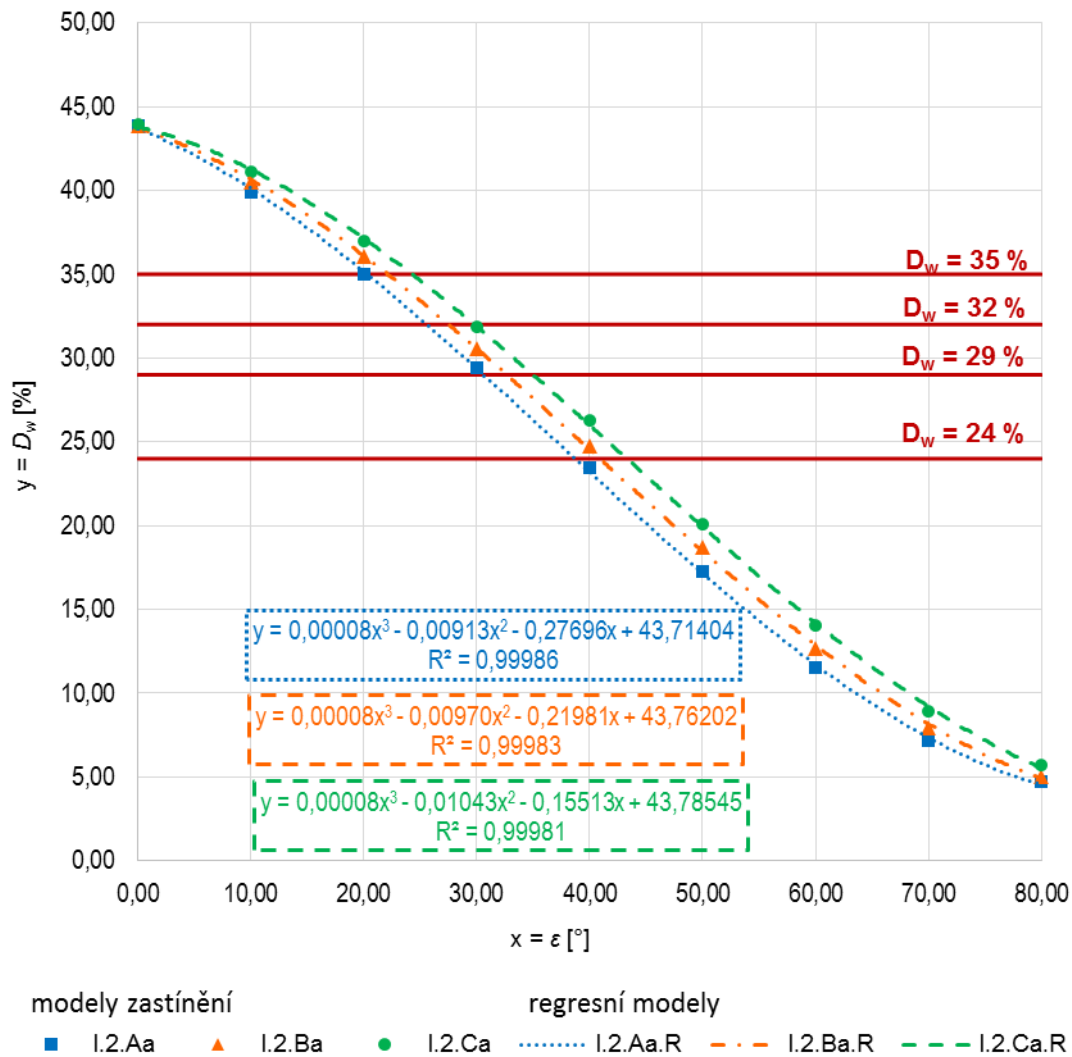


Poznámky:

- vertikální překážka ve vzdálenosti 7 m od budovy s hodnocenou místností dle obr. 7.1.1 (výška vertikální překážky i budovy s hodnocenou místností je shodná);
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem;
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	I.1.Ab	I.1.Bb	I.1.Cb
regresní model	I.1.Ab.R	I.1.Bb.R	I.1.Cb.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,20	0,20	0,20
činitel odrazu světla od překážky a budovy s hodnocenou místností ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.2 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ϵ pro modely zastínění I.1.Ab až I.1.Cb (autor)

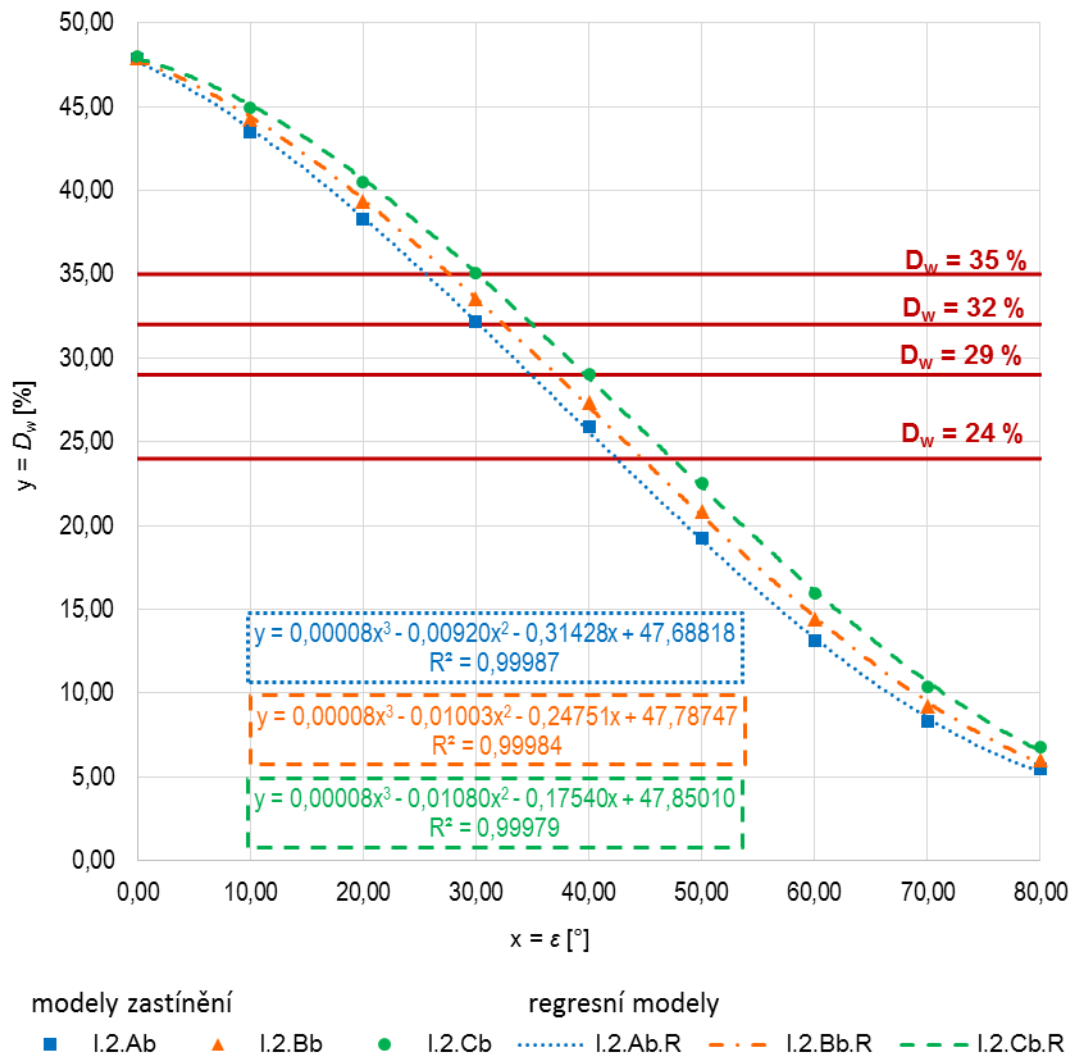


Poznámky:

- vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od budovy s hodnocenou místností dle obr. 7.1.1 (výška vertikální překážky i budovy s hodnocenou místností je shodná);
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem;
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	I.2.Aa	I.2.Ba	I.2.Ca
regresní model	I.2.Aa.R	I.2.Ba.R	I.2.Ca.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,10	0,10	0,10
činitel odrazu světla od překážky a budovy s hodnocenou místností ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.3 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Ca (autor)



Poznámky:

- vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od budovy s hodnocenou místností dle obr. 7.1.1 (výška vertikální překážky i budovy s hodnocenou místností je shodná);
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem;
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	I.2.Ab	I.2.Bb	I.2.Cb
regresní model	I.2.Ab.R	I.2.Bb.R	I.2.Cb.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,20	0,20	0,20
činitel odrazu světla od překážky a budovy s hodnocenou místností ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.4 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění I.2.Ab až I.2.Cb (autor)

7.6.3 Činitel denní osvětlenosti D_w při stínění místnosti horizontální překážkou nad oknem

Pro analyzované modely zastínění místnosti horizontální překážkou II.1.Aa až II.1.Cb dosahuje činitel denní osvětlenosti D_w hodnot mezi 24 % a 35 % (tj. nejnižší a nejvyšší požadovaná hodnota dle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8]) zhruba pro úhly stínění ε v rozmezí 33° až 60° (viz diagramy na obr. 7.6.5, obr. 7.6.6). Při hodnocené geometrii modelů zastínění II.1.Aa až II.1.Cb dle obr. 7.1.2 a při použitých reflektancích světla venkovních povrchů dle tab. 7.1.4 a tab. 7.6.1 je hodnota činitele denní osvětlenosti D_w tvořena zejména oblohovou složkou činitele denní osvětlenosti a odraženou složkou od terénu. **Zvýšením činitele odrazu světla od horizontální překážky při konstantním činiteli odrazu světla od terénu dojde u hodnocených modelů zastínění pouze k minimálnímu nárůstu hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w** (viz také tab. 7.6.5 a příloha 12.6). Naopak zvýšením činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,10 na hodnotu 0,20 při zachování činitele odrazu světla od překážky dojde u hodnocených modelů zastínění pro úhly stínění ε v rozmezí 30° až 60° k absolutnímu zvýšení činitele denní osvětlenosti D_w zhruba o 4 p. b., což představuje relativní navýšení zhruba o 10 % až 20 % (viz také tab. 7.6.4 a příloha 12.6). **Z hlediska použití diagramů na obr. 7.6.5 a obr. 7.6.6 je proto podstatné zejména určení hodnoty činitele odrazu světla od terénu.**

Tab. 7.6.4: Relativní změny Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu při zachování činitele odrazu světla od horizontální překážky a hodnocené budovy – modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb (autor)

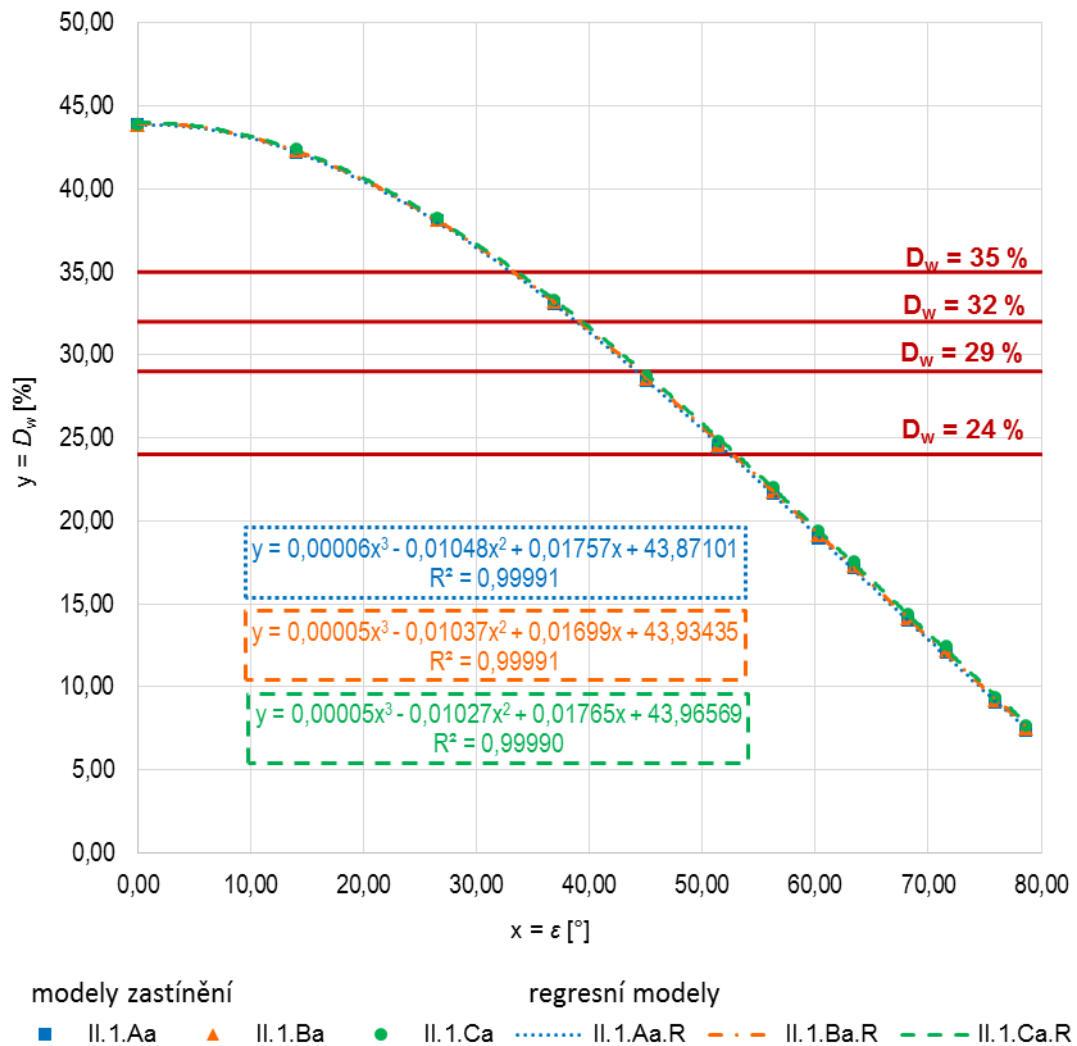
model zastínění		relativní změna činitele denní osvětlenosti D_w											
		Δd_{DW} [%]											
referenční	porovnávaný	úhel stínění ε [°]											
		14,04	26,57	36,87	45,00	51,34	56,31	60,26	63,43	68,20	71,57	75,96	78,69
II.1.Aa	II.1.Ab	9,41	10,43	11,82	13,77	15,72	17,44	19,35	20,72	23,61	25,54	28,98	29,91
II.1.Ba	II.1.Bb	9,30	10,53	12,05	14,01	16,07	17,97	19,84	21,69	24,94	26,95	29,76	31,29
II.1.Ca	II.1.Cb	9,57	10,59	12,30	14,50	16,45	18,40	20,68	22,35	25,78	27,67	31,17	32,34

Poznámka: Modely zastínění uvažovány dle obr. 7.1.2, tab. 7.1.2, tab. 7.1.4. Relativní změny Δd_{DW} stanoveny na základě dat v příloze 12.6.

Tab. 7.6.5: Relativní změny Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od horizontální překážky při zachování činitele odrazu světla od terénu – modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb (autor)

model zastínění		relativní změna činitele denní osvětlenosti D_w											
		Δd_{DW} [%]											
referenční	porovnávaný	úhel stínění ε [°]											
		14,04	26,57	36,87	45,00	51,34	56,31	60,26	63,43	68,20	71,57	75,96	78,69
II.1.Aa	II.1.Ba	0,29	0,15	0,42	0,54	0,70	0,87	1,18	0,94	1,08	1,49	2,13	1,78
II.1.Aa	II.1.Ca	0,47	0,47	0,79	1,02	1,51	1,80	2,21	2,33	2,64	3,40	3,98	4,19
II.1.Ab	II.1.Bb	0,19	0,24	0,62	0,75	1,00	1,33	1,60	1,76	2,17	2,63	2,74	2,86
II.1.Ab	II.1.Cb	0,63	0,62	1,22	1,67	2,16	2,64	3,36	3,71	4,44	5,15	5,75	6,15

Poznámka: Modely zastínění uvažovány dle obr. 7.1.2, tab. 7.1.2, tab. 7.1.4. Relativní změny Δd_{DW} stanoveny na základě dat v příloze 12.6.

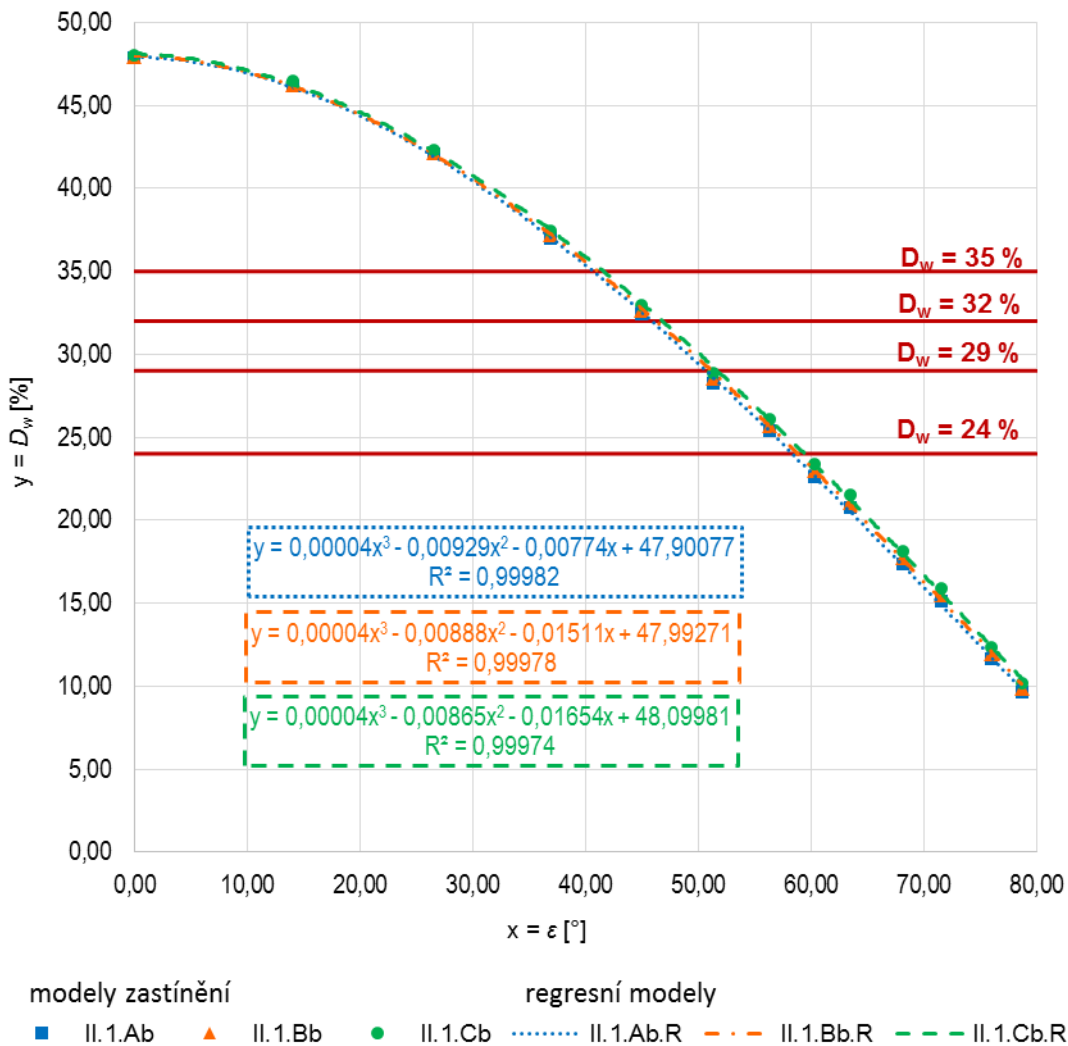


Poznámky:

- horizontální překážka nad oknem ve vzdálenosti 1 m od středu okna hodnocené místnosti a 0,25 m od nadpraží okna hodnocené místnosti dle obr. 7.1.2;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem;
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	II.1.Aa	II.1.Ba	II.1.Ca
regresní model	II.1.Aa.R	II.1.Ba.R	II.1.Ca.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,10	0,10	0,10
činitel odrazu světla od překážky a budovy s hodnocenou místností ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.5 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění II.1.Aa až II.1.Ca (autor)



Poznámky:

- horizontální překážka nad oknem ve vzdálenosti 1 m od středu okna hodnocené místnosti a 0,25 m od nadpraží okna hodnocené místnosti dle obr. 7.1.2;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem;
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	II.1.Ab	II.1.Bb	II.1.Cb
regresní model	II.1.Ab.R	II.1.Bb.R	II.1.Cb.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,20	0,20	0,20
činitel odrazu světla od překážky a budovy s hodnocenou místností ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.6 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění II.1.Ab až II.1.Cb (autor)

7.6.4 Činitel denní osvětlenosti D_w u čtvercových vnitrobloků

Činitel denní osvětlenosti D_w byl u čtvercových vnitrobloků stanoven uprostřed jejich šířky ve vzdálenosti 2 m nad terénem dle obr. 7.1.3. Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w závisí u čtvercových vnitrobloků na indexu atria WI [40], [55], [56]. **Diagramy pro stanovení hodnoty D_w na obr. 7.6.7 až obr. 7.6.12 lze proto použít nejen pro vnitrobloky uvedených rozměrů při umístění hodnoceného bodu ve výšce 2 m nad terénem ve středu šířky stěny čtvercového atria. Pomocí sestavených diagramů může být stanovena hodnota D_w také v bodu uprostřed šířky stěny čtvercového atria ve výšce nad terénem, jejíž poměr vůči výšce čtvercového vnitrobloku je shodný jako u bodu, pro který je diagram sestaven.** Například u čtvercového vnitrobloku výšky 10 m mohou být diagramy pro bod ve výšce 2 m nad terénem použity i pro stanovení hodnoty D_w v bodě umístěném ve 20 % výšky čtvercového vnitrobloku s jinou výškou než 10 m. U každého z diagramů na obr. 7.6.7 až obr. 7.6.12 je proto také procentuálně vyjádřeno, v jaké části výšky vnitrobloku se hodnocený bod nachází.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanovené v bodě umístěném ve středu stěny vnitrobloku ve výšce 2 m nad terénem jsou pro shodný index WI nejvyšší u vnitrobloku s výškou 10 m a naopak nejnižší u vnitrobloku vysokého 30 m (viz hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w v dle příloze 12.6). Například pro terén s činitelem odrazu světla 0,10 a stěny vnitrobloku s činitelem odrazu světla 0,20 při indexu $WI = 0,5$ je činitel denní osvětlenosti D_w dle přílohy 12.6 roven 27,63 % pro vnitroblok výšky 10 m (model zastínění III.1.Aa), 25,56 % pro vnitroblok výšky 20 m (model zastínění III.2.Aa) a 24,92 % pro vnitroblok výšky 30 m (model zastínění III.3.Aa). Tyto rozdíly v hodnotách činitele denní osvětlenosti jsou způsobeny tím, že **do bodu umístěného 2 m nad terénem ve středu šířky stěny vnitrobloku dopadá více oblohového světla u vnitrobloku s výškou 10 m než u vnitrobloku vysokého 30 m.** Uvedené je důsledkem toho, že bod ve výšce 2 m nad zemí svírá s naproti stojící stěnou vnitrobloku úhel stínění ε_a , který se pro shodný index WI zvyšuje pro vyšší výšku vnitrobloku (viz také obr. 7.1.3 a tab. 7.6.6).

Tab. 7.6.6: Úhel stínění ε_a naproti stojící stěnou vnitrobloku výšky h_a pro bod ve výšce 2 m nad terénem při indexu WI (autor)

WI [-]		úhel stínění ε_a [°] naproti stojící stěnou vnitrobloku (dle obr. 7.1.3)									
		0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,250	1,500
h_a [m]	10,00	5,71	11,31	16,70	21,80	26,57	30,96	34,99	38,66	45,00	50,19
h_a [m]	20,00	6,42	12,68	18,65	24,23	29,36	34,02	38,22	41,99	48,37	53,47
h_a [m]	30,00	6,65	13,13	19,29	25,02	30,26	34,99	39,24	43,03	49,40	54,46

Z hlediska požadavků, které jsou stanoveny přílohou B normy ČSN 73 0580-1 [8], je v mimořádně stíněných podmínkách měst požadována hodnota činitele denní osvětlenosti D_w alespoň 24 %. Pro vnitroblok výšky 10 m s činitelem odrazu světla od venkovních stěn 0,40 při činiteli odrazu světla od terénu 0,20 (tj. model zastínění III.1.Cb) lze z diagramu na obr. 7.6.8 stanovit, že hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_w = 24$ % je pro tento vnitroblok dosaženo zhruba pro index $WI = 0,79$. U všech ostatních modelů zastínění pro vnitrobloky by této požadované hodnoty bylo dosaženo při nižším indexu WI . Vzhledem k požadavkům přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] a indexům WI použitým pro stanovení rozměrů vnitrobloků

u modelů zastínění se při dalším vyhodnocování jeví vhodné zaměřit se zejména na vnitrobloky s indexem WI o hodnotě 0,875 a nižší.

U všech hodnocených modelů zastínění pro vnitrobloky dojde při zvýšení činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,10 na hodnotu 0,20 k relativnímu navýšení činitele denní osvětlenosti D_w zhruba o 8 až 10 % pro indexy WI do hodnoty 0,875 (viz tab. 7.6.7). Například pro vnitroblok výšky 30 m s indexem $WI = 0,375$ a činitelem odrazu světla od stěn vnitrobloku 0,20 dojde při navýšení činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,10 na hodnotu 0,20 ke zvýšení činitele denní osvětlenosti D_w z hodnoty 29,39 % na hodnotu 32,08 %, což představuje relativní zvýšení o 9,15 % (výsledky v příloze 12.6 pro modely zastínění III.3.Aa, III.3.Ab).

Tab. 7.6.7: Relativní změny Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu při zachování činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku – modely zastínění III.1 až III.3 (autor)

model zastínění		relativní změna činitele denní osvětlenosti D_w									
		Δd_{DW} [%]									
		index atria WI [-]									
referenční	porovnávaný	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,250	1,500
III.1.Aa	III.1.Ab	9,13	8,84	8,87	8,54	8,22	8,07	7,72	7,14	6,90	5,45
III.1.Ba	III.1.Bb	9,23	8,95	8,85	8,69	8,34	8,05	8,03	7,48	6,87	6,40
III.1.Ca	III.1.Cb	9,38	9,22	9,11	8,76	8,51	8,41	8,03	7,54	6,87	6,36
III.2.Aa	III.2.Ab	8,51	8,91	9,16	9,47	9,39	9,29	9,41	9,90	9,92	9,98
III.2.Ba	III.2.Bb	8,71	9,05	9,39	9,59	9,52	10,13	9,79	10,04	9,98	10,60
III.2.Ca	III.2.Cb	8,90	9,30	9,68	9,59	9,91	9,93	9,88	10,08	10,00	9,55
III.3.Aa	III.3.Ab	8,32	8,75	9,15	9,51	9,94	10,36	10,56	10,45	11,48	11,91
III.3.Ba	III.3.Bb	8,49	8,90	9,40	9,73	10,25	10,41	10,42	10,60	11,22	11,80
III.3.Ca	III.3.Cb	8,71	9,29	9,69	10,07	10,40	10,46	10,61	10,77	11,06	11,64

Poznámka: Modely zastínění uvažovány dle obr. 7.1.3, tab. 7.1.3, tab. 7.1.4. Relativní změny Δd_{DW} stanoveny na základě dat v příloze 12.6.

Relativní změna Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w v důsledku vyššího činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku se zvyšuje s rostoucí hodnotou indexu WI , jak je patrné z tab. 7.6.8. Zvýšením hodnoty činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,30 při neměnné hodnotě činitele odrazu světla od terénu dojde k relativnímu zvýšení činitele denní osvětlenosti D_w zhruba o 1 % ($WI = 0,125$) až 8 % ($WI = 0,875$). Při změně činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,40 se při konstantním činitele odrazu světla od terénu činitel denní osvětlenosti D_w relativně zvýší zhruba o 2 % až 18 % při indexech WI v rozmezí 0,125 až 0,875. Například u vnitrobloku výšky 30 m s indexem $WI = 0,375$ znamená zvýšení činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,40 při činitele odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,10$ nárůst činitele denní osvětlenosti D_w z hodnoty 29,39 % na hodnotu 31,57 %, což představuje relativní změnu o 7,41 % (výsledky v příloze 12.6 pro modely zastínění III.3.Aa, III.3.Ca).

Při současném zvýšení činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,10 na 0,20 a činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku z hodnoty 0,20 na 0,40 se například při indexu $WI = 0,375$ zvýší činitel denní osvětlenosti D_w u modelu zastínění III.2.Aa z hodnoty 29,92 % na hodnotu 35,24 % u modelu zastínění III.2.Cb (hodnoty činitele D_w dle přílohy 12.6). Jedná se tedy o nárůst činitele denní osvětlenosti D_w o 5,32 p. b., což znamená relativní zvýšení hodnoty o 17,78 %.

Tab. 7.6.8: Relativní změny Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku při zachování činitele odrazu světla od terénu – modely zastínění III.1 až III.3 (autor)

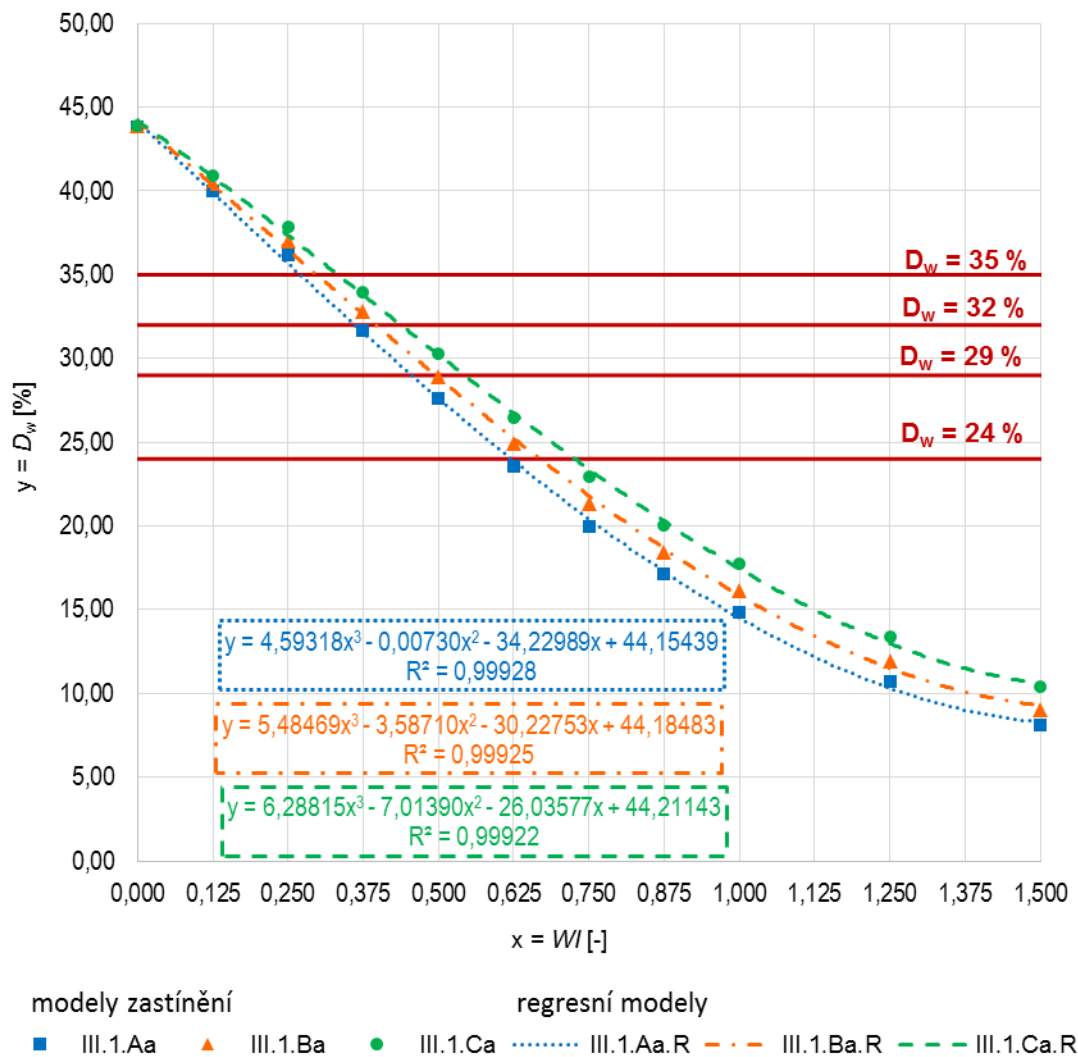
model zastínění		relativní změna činitele denní osvětlenosti D_w									
		Δd_{DW} [%]									
referenční	porovnávaný	index atria WI [-]									
		0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,250	1,500
III.1.Aa	III.1.Ba	1,13	2,18	3,50	4,56	5,77	7,12	7,78	9,03	11,29	12,13
III.1.Aa	III.1.Ca	2,43	4,56	7,14	9,52	12,12	15,05	17,31	19,74	25,00	28,47
III.1.Ab	III.1.Bb	1,22	2,28	3,48	4,70	5,88	7,10	8,09	9,37	11,26	13,15
III.1.Ab	III.1.Cb	2,66	4,93	7,37	9,74	12,42	15,41	17,64	20,19	24,96	29,58
III.2.Aa	III.2.Ba	1,25	2,31	3,58	4,81	5,95	6,66	8,10	9,74	11,71	13,06
III.2.Aa	III.2.Ca	2,52	4,77	7,39	10,13	12,55	15,00	17,64	21,25	25,98	30,26
III.2.Ab	III.2.Bb	1,43	2,44	3,80	4,93	6,08	7,48	8,48	9,88	11,76	13,69
III.2.Ab	III.2.Cb	2,89	5,14	7,90	10,26	13,09	15,67	18,15	21,44	26,06	29,75
III.3.Aa	III.3.Ba	1,31	2,50	3,57	4,74	5,91	7,35	8,63	9,47	11,71	13,76
III.3.Aa	III.3.Ca	2,57	4,82	7,42	9,99	12,75	15,69	18,43	20,74	26,00	31,21
III.3.Ab	III.3.Bb	1,47	2,65	3,80	4,95	6,22	7,40	8,49	9,61	11,45	13,64
III.3.Ab	III.3.Cb	2,94	5,34	7,95	10,55	13,23	15,79	18,48	21,09	25,53	30,88

Poznámka: Modely zastínění uvažovány dle obr. 7.1.3, tab. 7.1.3, tab. 7.1.4. Relativní změny Δd_{DW} stanoveny na základě dat v příloze 12.6.

7.6.5 Shrnutí k závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na kritériu popisujícím stínění překážkou pro vybrané reflektance venkovních povrchů

Diagramem na obrázku B.2 v normě ČSN 730580-1 [8] lze stanovit hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w pouze pro souběžnou překážku při činiteli jasu překážky i terénu $k_y = 0,10$. V porovnání s tímto diagramem v normě ČSN 73 0580-1 [8] byly v dizertační práci sestaveny diagramy a regresní modely pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w pro více typů překážek (vertikální překážka před oknem, horizontální překážka nad oknem, čtvercový vnitroblok) a místo činitele jasu k_y jsou světelně technické vlastnosti venkovních povrchů definovány pomocí činitele odrazu světla od terénu a venkovních objektů. **Pomocí sestavených diagramů a regresních modelů závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε nebo indexu WI lze zejména v rámci přípravné fáze projektu orientačně stanovit vliv navržené stavby na přístup světla k průčelí okolních budov.**

Pro hodnocené způsoby zastínění je vliv činitele odrazu světla od venkovních překážek na hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w patrný zejména u vertikálních překážek před oknem a u čtvercových vnitrobloků. V případě hodnocené horizontální překážky nad oknem je vliv činitele odrazu světla od překážky na hodnotu D_w minimální (viz tab. 7.6.5). Zvýšení činitele odrazu světla od terénu se projevilo u všech hodnocených způsobů zastínění zřetelným nárůstem činitele denní osvětlenosti D_w . Z hodnot relativní změny Δd_{DW} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu v tab. 7.6.2, tab. 7.6.4 a tab. 7.6.7 je patrné, že k největšímu relativnímu nárůstu hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu došlo u hodnoceného zastínění horizontální překážkou nad oknem.

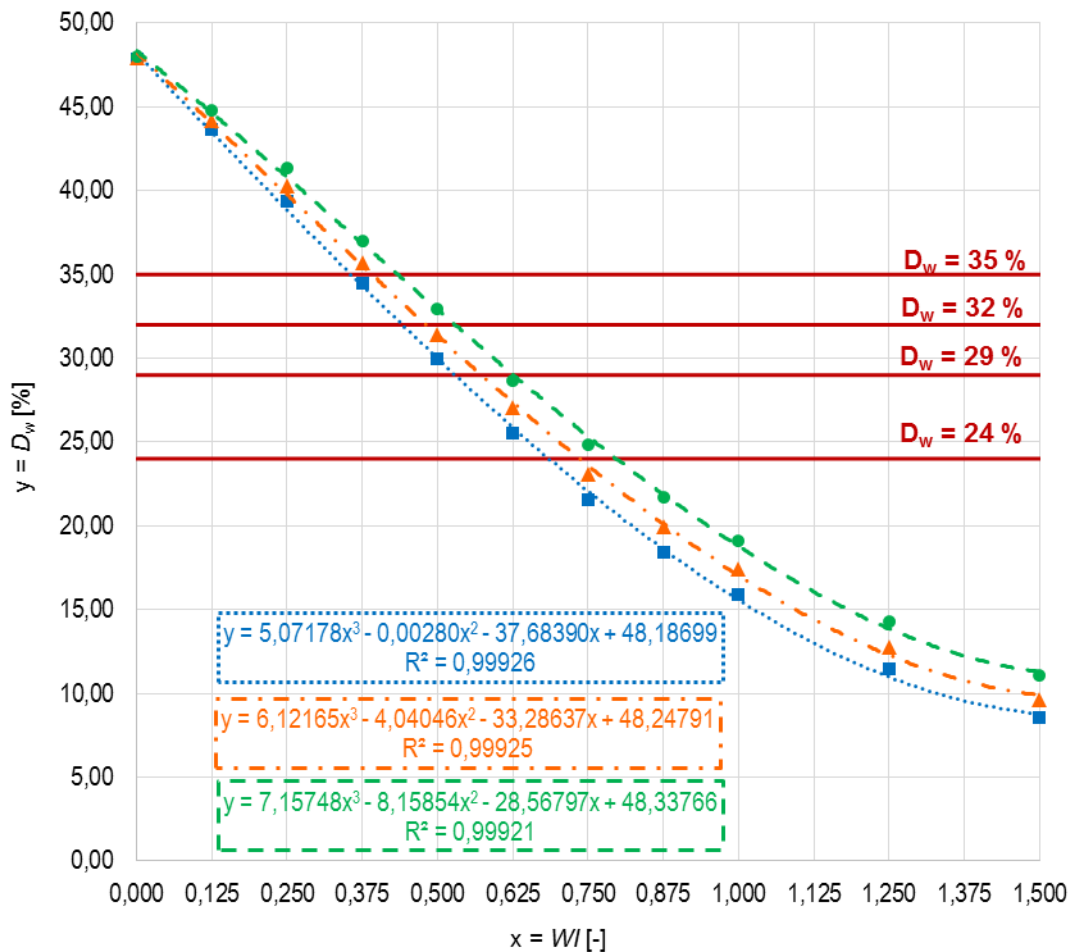


Poznámky:

- čtvercový vnitroblok výšky 10 m; hodnocená místnost umístěná symetricky ve stěně vnitrobloku podle obr. 7.1.3;
- index atria WI se vypočte jako podíl výšky h_a a délky vnitřní strany l_a vnitrobloku: $WI = h_a / l_a$ dle obr. 7.1.3;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terénem (tj. při výšce vnitrobloku 10 m ve 20 % výšky vnitrobloku);
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	III.1.Aa	III.1.Ba	III.1.Ca
regresní model	III.1.Aa.R	III.1.Ba.R	III.1.Ca.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,10	0,10	0,10
činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.7 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.1.Aa až III.1.Ca (autor)



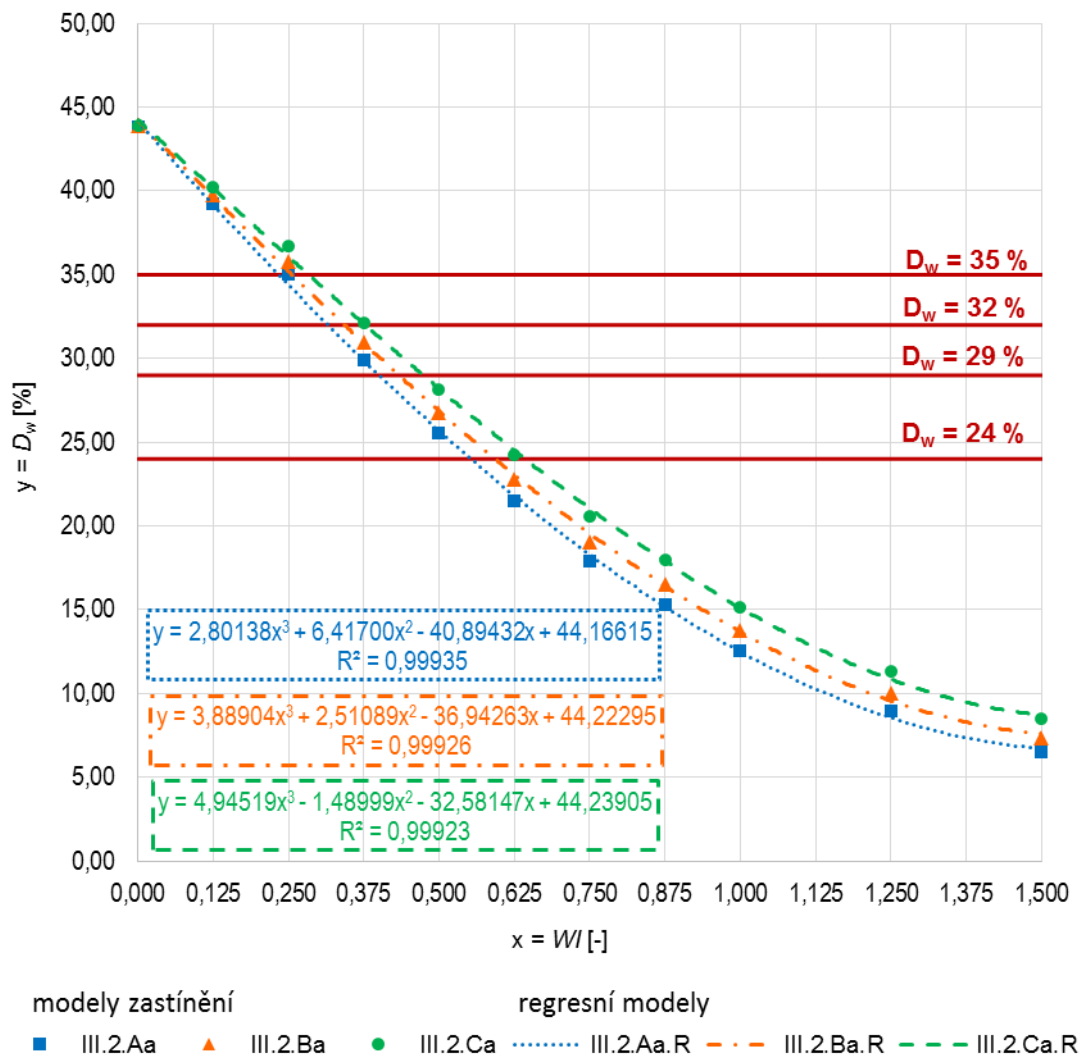
modely zastínění regresní modely
 ■ III.1.Ab ▲ III.1.Bb ● III.1.Cb III.1.Ab.R -.- III.1.Bb.R - - - III.1.Cb.R

Poznámky:

- čtvercový vnitroblok výšky 10 m; hodnocená místnost umístěná symetricky ve stěně vnitrobloku podle obr. 7.1.3;
- index atria WI se vypočte jako podíl výšky h_a a délky vnitřní strany l_a vnitrobloku: $WI = h_a / l_a$ dle obr. 7.1.3;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terénem (tj. při výšce vnitrobloku 10 m ve 20 % výšce vnitrobloku);
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	III.1.Ab	III.1.Bb	III.1.Cb
regresní model	III.1.Ab.R	III.1.Bb.R	III.1.Cb.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,20	0,20	0,20
činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.8 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.1.Ab až III.1.Cb (autor)

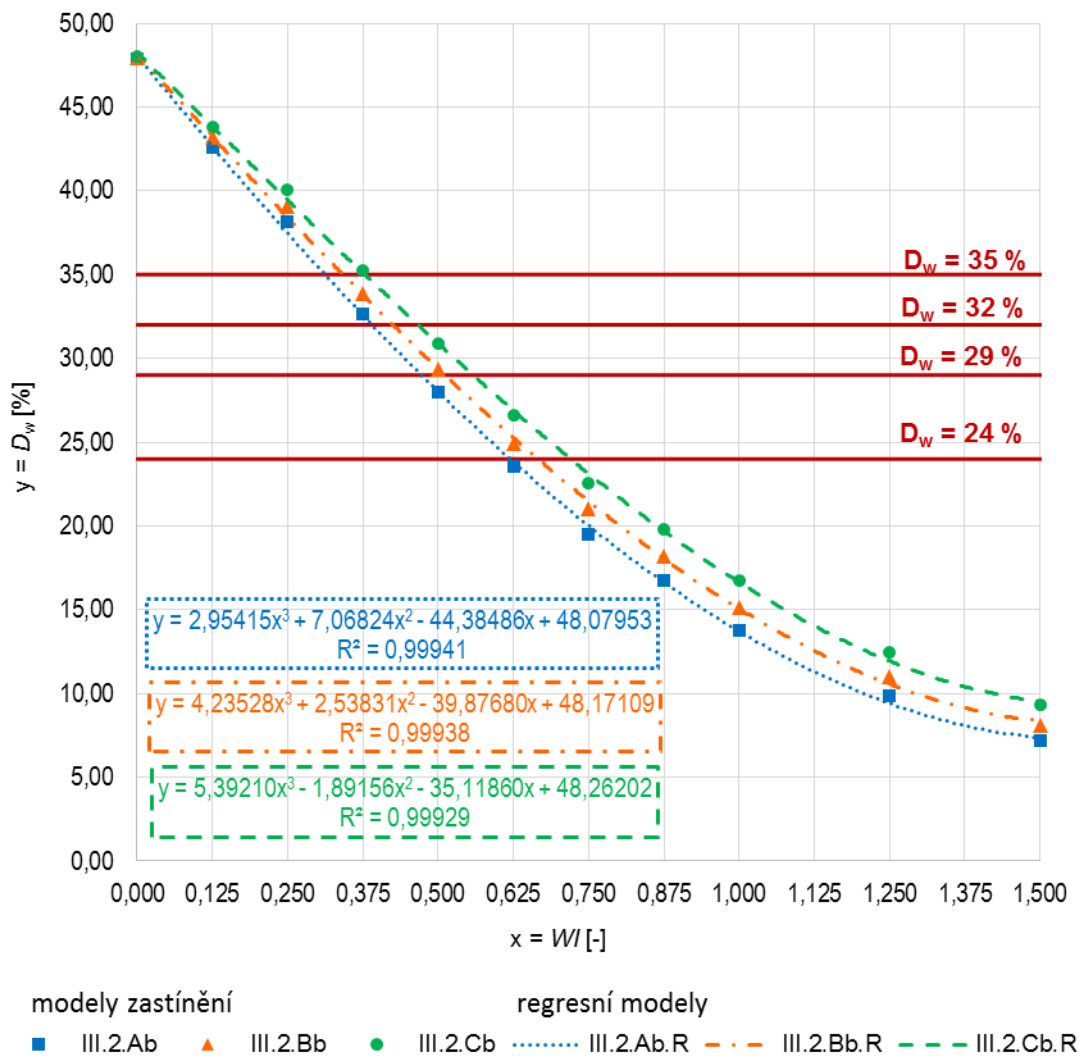


Poznámky:

- čtvercový vnitroblok výšky 20 m; hodnocená místnost umístěná symetricky ve stěně vnitrobloku podle obr. 7.1.3;
- index atria WI se vypočte jako podíl výšky h_a a délky vnitřní strany l_a vnitrobloku: $WI = h_a / l_a$ dle obr. 7.1.3;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terénem (tj. při výšce vnitrobloku 20 m v 10 % výšce vnitrobloku);
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	III.2.Aa	III.2.Ba	III.2.Ca
regresní model	III.2.Aa.R	III.2.Ba.R	III.2.Ca.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,10	0,10	0,10
činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.9 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.2.Aa až III.2.Ca (autor)

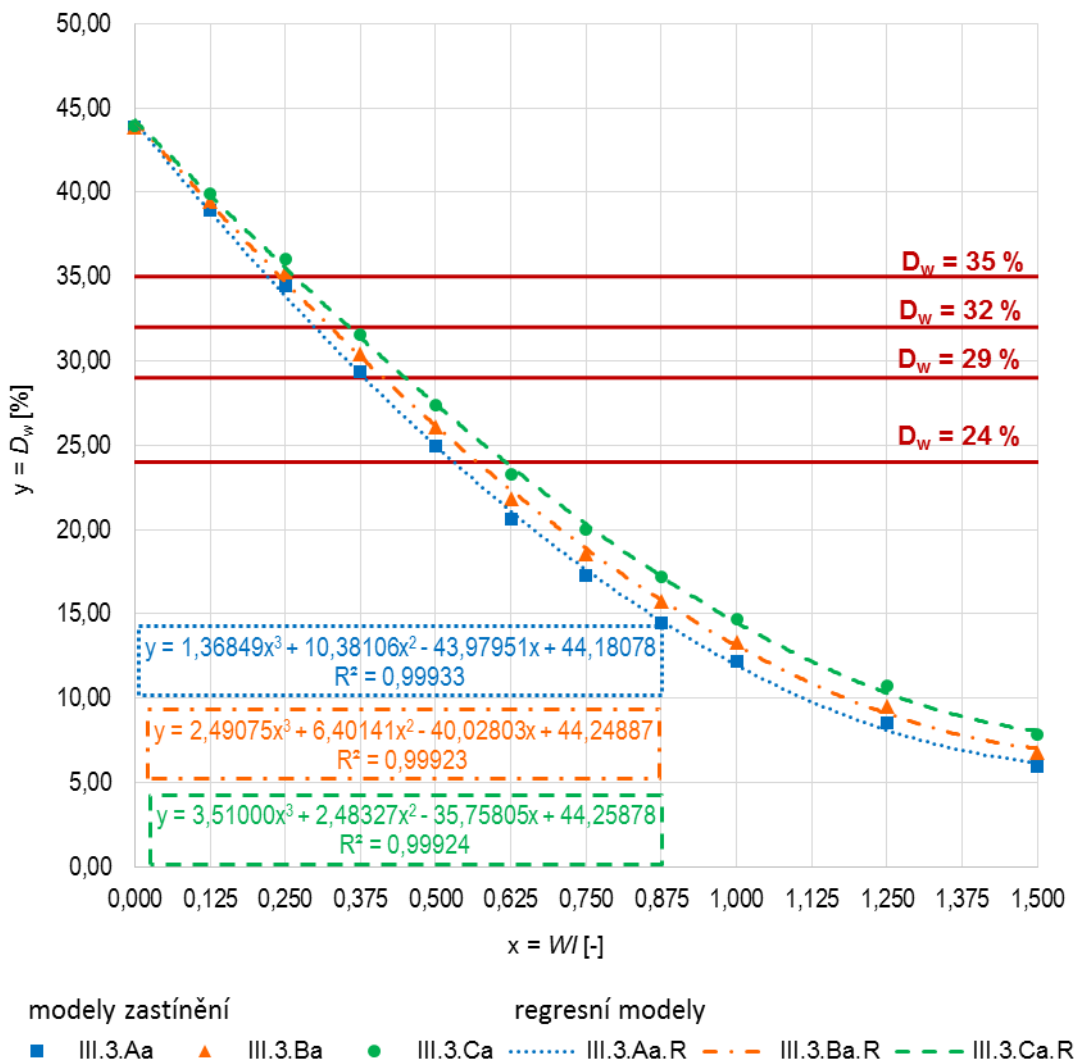


Poznámky:

- čtvercový vnitroblok výšky 20 m; hodnocená místnost umístěná symetricky ve stěně vnitrobloku podle obr. 7.1.3;
- index atria WI se vypočte jako podíl výšky h_a a délky vnitřní strany l_a vnitrobloku: $WI = h_a / l_a$ dle obr. 7.1.3;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terémem (tj. při výšce vnitrobloku 20 m v 10 % výšky vnitrobloku);
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	III.2.Ab	III.2.Bb	III.2.Cb
regresní model	III.2.Ab.R	III.2.Bb.R	III.2.Cb.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,20	0,20	0,20
činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.10 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.2.Ab až III.2.Cb (autor)

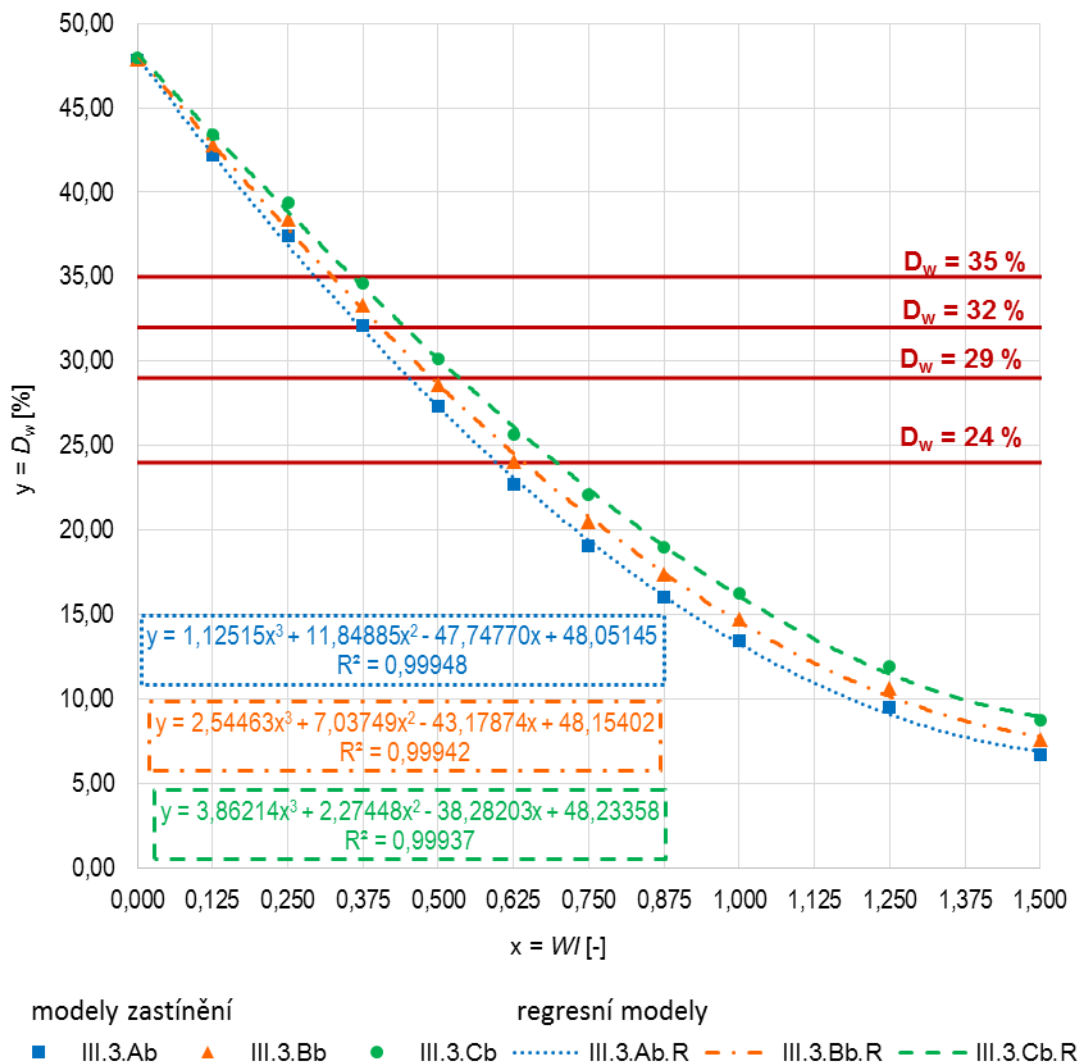


Poznámky:

- čtvercový vnitroblok výšky 30 m; hodnocená místnost umístěná symetricky ve stěně vnitrobloku podle obr. 7.1.3;
- index atria WI se vypočte jako podíl výšky h_a a délky vnitřní strany l_a vnitrobloku: $WI = h_a / l_a$ dle obr. 7.1.3;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terénem (tj. při výšce vnitrobloku 30 m v 6,7 % výšky vnitrobloku);
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	III.3.Aa	III.3.Ba	III.3.Ca
regresní model	III.3.Aa.R	III.3.Ba.R	III.3.Ca.R
činitel odrazu světla od terénu ρ_T [-]	0,10	0,10	0,10
činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku ρ_p [-]	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.11 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.3.Aa až III.3.Ca (autor)



Poznámky:

- čtvercový vnitroblok výšky 30 m; hodnocená místnost umístěná symetricky ve stěně vnitrobloku podle obr. 7.1.3;
- index atria WI se vypočte jako podíl výšky h_a a délky vnitřní strany l_a vnitrobloku: $WI = h_a / l_a$ dle obr. 7.1.3;
- hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanoveny v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terénem (tj. při výšce vnitrobloku 30 m v 6,7 % výšky vnitrobloku);
- označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, označení regresních modelů dle tab. 7.6.1;
- hodnoty činitelů odrazu světla:

model zastínění	III.3.Ab	III.3.Bb	III.3.Cb
regresní model	III.3.Ab.R	III.3.Bb.R	III.3.Cb.R
činitel odrazu světla od terénu $\rho_T [-]$	0,20	0,20	0,20
činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku $\rho_P [-]$	0,20	0,30	0,40

Obr. 7.6.12 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.3.Ab až III.3.Cb (autor)

7.7 VÝBĚR ZPŮSOBŮ ZASTÍNĚNÍ PRO ANALÝZU KVANTA DENNÍHO SVĚTLA UVNITŘ ZASTÍNĚNÉ MÍSTNOSTI

Z hodnot kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ uvedených v příloze 12.6 vyplývá:

- modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb (vertikální překážka ve vzdálenosti 7 m a 20 m od hodnocené místnosti dle obr. 7.1.1 a tab. 7.1.4):
 - Pro obě vertikální překážky se u vzájemně ekvivalentních variant zastínění (tzn. shodná kombinace činitelů odrazu světla venkovních povrchů a stejná hodnota úhlu stínění ϵ) absolutní rozdíl v hodnotě daného kritéria při totožné orientaci místnosti (je-li kritérium ovlivněno orientací místnosti) pohybuje do 5 p. b. Největší rozdíl byl zjištěn v hodnotách $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ v případě variant zastínění I.1.Cb a I.2.Cb při úhlu stínění 60° u jižně orientované místnosti, kde hodnota tohoto kritéria činila 9,16 % u modelu zastínění I.1.Cb a 13,92 % u modelu zastínění I.2.Cb. Rozdíl v hodnotách $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ tedy v tomto případě činí 4,76 p. b.
- modely zastínění III.1.Aa až III.3.Cb (vnitrobloky se čtvercovým půdorysem dle obr. 7.1.3 a tab. 7.1.4)
 - Pro čtvercové vnitrobloky výšek 10 m, 20 m a 30 m u vzájemně ekvivalentních variant zastínění (tzn. shodná kombinace činitelů odrazu světla venkovních povrchů a stejná hodnota indexu WI) absolutní rozdíl v hodnotě daného kritéria při totožné orientaci místnosti (je-li kritérium ovlivněno orientací místnosti) nepřekračuje 10 p. b. Nejvíce se liší výsledky pro kritérium $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ u severně orientované místnosti ve vnitroblocích s výškou 10 m a 30 m při $WI = 0,625$ u modelů zastínění III.1.Ca a III.3.Ca. Při indexu $WI = 0,625$ byla u severně orientované místnosti hodnota $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ rovna 36,26 % v modelu zastínění III.1.Ca, zatímco u modelu zastínění III.3.Ca toto kritérium dosáhlo hodnoty 28,21 %. Rozdíl v hodnotách kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ je pro porovnávané varianty zastínění tedy roven 8,05 p. b.

Výše uvedené rozdíly v hodnotách kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ u vzájemně ekvivalentních variant zastínění jsou menší než 10 p. b. **Z hlediska dalších vyhodnocení a z hlediska ověření možnosti sestavení regresních modelů závislosti hodnot kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w lze tyto vzájemné absolutní rozdíly ve výsledcích považovat za malé. Pro další analýzu kvanta denního světla uvnitř zastíněných místností byly tedy vybrány pouze následující tři způsoby zastínění:**

- **zastínění vertikální překážkou** ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti (modely zastínění I.2.Aa až I.2.Cb dle obr. 7.1.1 a tab. 7.1.4);
- **zastínění horizontální překážkou** nad oknem (modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb dle obr. 7.1.2 a tab. 7.1.4);
- **čtvercový vnitroblok s výškou 20 m** (modely zastínění III.2.Aa až III.2.Cb dle obr. 7.1.3 a tab. 7.1.4).

7.8 DENNÍ OSVĚTLENÍ MÍSTNOSTI STÍNĚNÉ ROZDÍLNÝMI PŘEKÁŽKAMI PŘI SHODNÉ HODNOTĚ Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI D_w

Denní osvětlení uvnitř místnosti stíněné rozdílnými venkovními překážkami bude vyhodnoceno pro činitel denní osvětlenosti D_w o hodnotě 32 %. Uvedená hodnota byla zvolena, protože se jedná o minimální požadovanou hodnotu pro vyhodnocení přístupu světla u běžných prostorů s trvalým pobytem lidí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8].

V předcházející kapitole byly uvedeny způsoby zastínění, které budou v rámci analýzy denního osvětlení uvnitř místnosti vyhodnocovány. Pro každý ze způsobů zastínění je v tab. 7.1.4 uvedeno 6 modelů zastínění, které se vzájemně liší hodnotami činitelů odrazu světla od venkovních povrchů. V kombinaci venkovních povrchů označené Aa jsou použity venkovní povrchy s nejnižšími uvažovanými činiteli odrazu světla (činitel odrazu světla od terénu 0,10 a činitel odrazu světla od fasád a překážek 0,20). Naopak pro kombinaci označenou Cb byly navrženy venkovní povrchy s nejvyššími hodnotami činitele odrazu světla (činitel odrazu světla od terénu 0,20 a činitel odrazu světla od fasád a překážek 0,40). Pokud má být u všech šesti modelů zastínění v rámci jednoho způsobu zastínění dosaženo shodné hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w , potom této hodnoty D_w bude dosaženo pro nejnižší úhel stínění ε nebo nejnižší index WI v modelu zastínění s nejnižšími použitými reflektancemi venkovních povrchů (tj. kombinace Aa) a naopak pro nejvyšší úhel stínění ε nebo nejvyšší index WI v modelu zastínění s nejvyššími použitými reflektancemi venkovních povrchů (tj. kombinace Cb). Například u vertikální překážky ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti (tj. způsob zastínění I.2) je dle diagramu na obr. 7.6.3 dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ pro model zastínění I.2.Aa s nejnižšími činiteli odrazu světla při úhlu stínění $\varepsilon = 25,5^\circ$, který odpovídá výšce překážky 11,54 m. Ale pro model zastínění I.2.Cb je hodnoty $D_w \approx 32 \%$ dosaženo pro úhel stínění $\varepsilon = 34,8^\circ$ – tj. při výšce překážky zhruba 15,90 m (viz diagram na obr. 7.6.4). Lze očekávat, že **pro identickou místnost se hodnoty kritérií pro určení kvanta denního osvětlení v místnosti budou v závislosti na hodnotě D_w nejvíce lišit právě u modelů zastínění s nejnižšími a nejvyššími činiteli odrazu světla od venkovních povrchů.**

Vyhodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti je tedy provedeno pro následující dvojice modelů zastínění: I.2.Aa a I.2.Cb (vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti), II.1.Aa a II.1.Cb (horizontální překážka nad oknem), III.2.Aa a III.2.Cb (čtvercový vnitroblok výšky 20 m). Z výsledků v příloze 12.6 vyplývá, že pro již spočtené varianty zastínění nebylo pro uvedené modely zastínění dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$. Z tohoto důvodu byly pro uvedené modely zastínění stanoveny doplňující varianty zastínění popsané v tab. 7.8.1, při kterých hodnota činitele denní osvětlenosti D_w bude přibližně 32 %. Doplňující varianty zastínění byly navrženy pomocí diagramů na obr. 7.6.3, obr. 7.6.4, obr. 7.6.5, obr. 7.6.6, obr. 7.6.9, obr. 7.6.10. Hodnocená místnost je uvažována dle kapitoly 7.2. Simulace denního osvětlení pro doplňující varianty zastínění byly provedeny dle kapitoly 7.4.

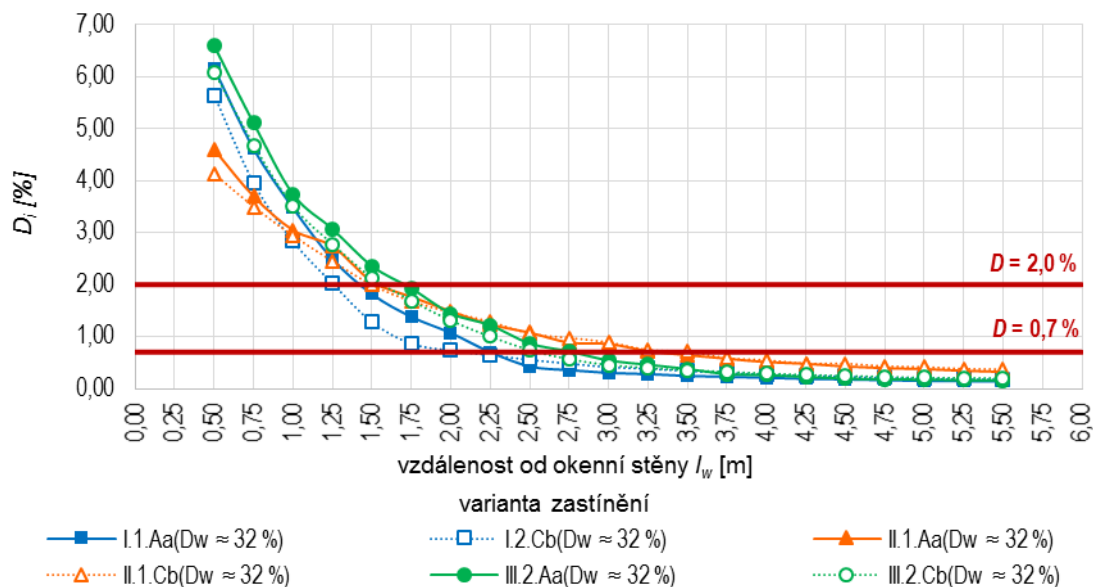
Pro varianty zastínění dle tab. 7.8.1 jsou na obr. 7.8.2 uvedeny **hodnoty činitele denní osvětlenosti D_i v kontrolních bodech i uvnitř místnosti.** Na obr. 7.8.5, obr. 7.8.6, obr. 7.8.9, obr. 7.8.10 je zobrazen **podíl doby s denním světlem, kdy osvětlenost v kontrolním bodě i dosáhne alespoň minimální cílové hodnoty 100 lx ($F_{time, 100 \text{ lx}, i} [\%]$) nebo cílové hodnoty**

300 lx ($F_{time, 300 lx, i}$ [%]). V grafech na obr. 7.8.1, obr. 7.8.3, obr. 7.8.4, obr. 7.8.7, obr. 7.8.8 jsou vyneseny v závislosti na vzdálenosti l_w [m] od okenní stěny hodnoty činitele denní osvětlenosti D_i nebo podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$, $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech i umístěných uprostřed šířky hodnocené místnosti.

Tab. 7.8.1: Doplnující varianty zastínění pro dosažení činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32$ % (autor)

varianta zastínění	$D_w^{(1)}$ [%]	popis
I.2.Aa $D_w \approx 32$ %	32,04	souvislá vertikální překážka výšky $h_v = 11,540$ m ve vzdálenosti $d_v = 20$ m od průčelí hodnocené budovy dle obr. 7.1.1, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,10$, činitel odrazu světla od průčelí budov $\rho_p = 0,20$, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2
I.2.Cb $D_w \approx 32$ %	32,02	souvislá vertikální překážka výšky $h_v = 15,900$ m ve vzdálenosti $d_v = 20$ m od průčelí hodnocené budovy dle obr. 7.1.1, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,20$, činitel odrazu světla od průčelí budov $\rho_p = 0,40$, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2
II.1.Aa $D_w \approx 32$ %	31,87	souvislá horizontální překážka délky $l_h = 0,818$ m nad oknem hodnocené místnosti dle obr. 7.1.2, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,10$, činitel odrazu světla od průčelí budovy a horizontální překážky $\rho_p = 0,20$, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2
II.1.Cb $D_w \approx 32$ %	31,78	souvislá horizontální překážka délky $l_h = 1,065$ m umístěná 0,25 m nad oknem hodnocené místnosti dle obr. 7.1.2, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,20$, činitel odrazu světla od průčelí budovy a horizontální překážky $\rho_p = 0,40$, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2
III.2.Aa $D_w \approx 32$ %	32,43	čtvercový vnitroblok výšky $h_a = 20$ m, délka vnitřní strany vnitrobloku $l_a = 64,516$ m dle obr. 7.1.3, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,10$, činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku $\rho_p = 0,20$, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2
III.2.Cb $D_w \approx 32$ %	32,11	čtvercový vnitroblok výšky $h_a = 20$ m, délka vnitřní strany vnitrobloku $l_a = 43,478$ m dle obr. 7.1.3, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,20$, činitel odrazu světla od stěn vnitrobloku $\rho_p = 0,40$, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2

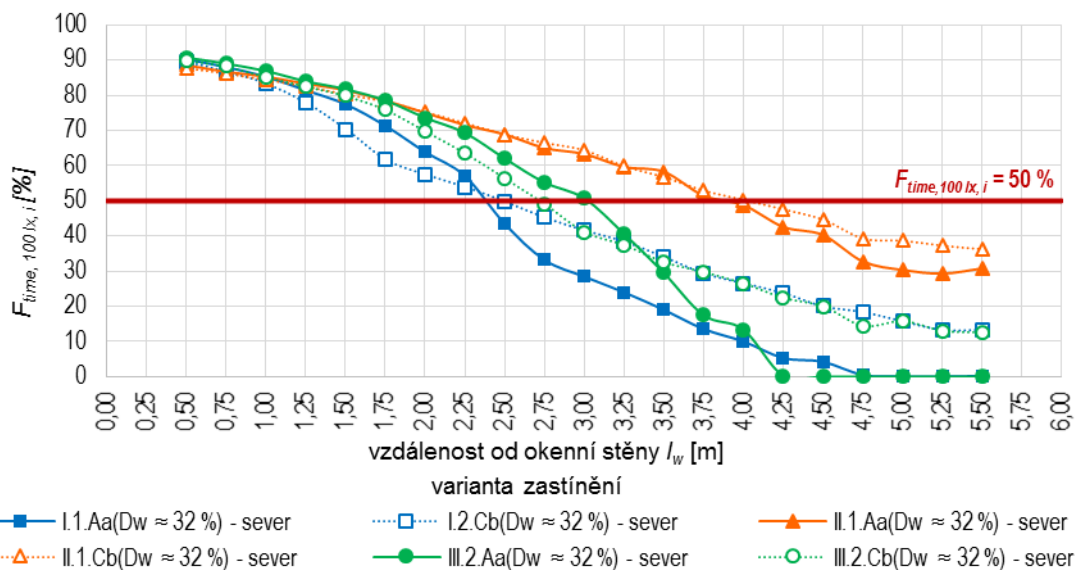
Vysvětlivka: 1) Hodnota D_w stanovena světelnou simulací v programu Daysim.



Poznámka:

Popis variant zastínění I.1.Aa $D_w \approx 32$ % - III.2.Cb $D_w \approx 32$ % uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2.

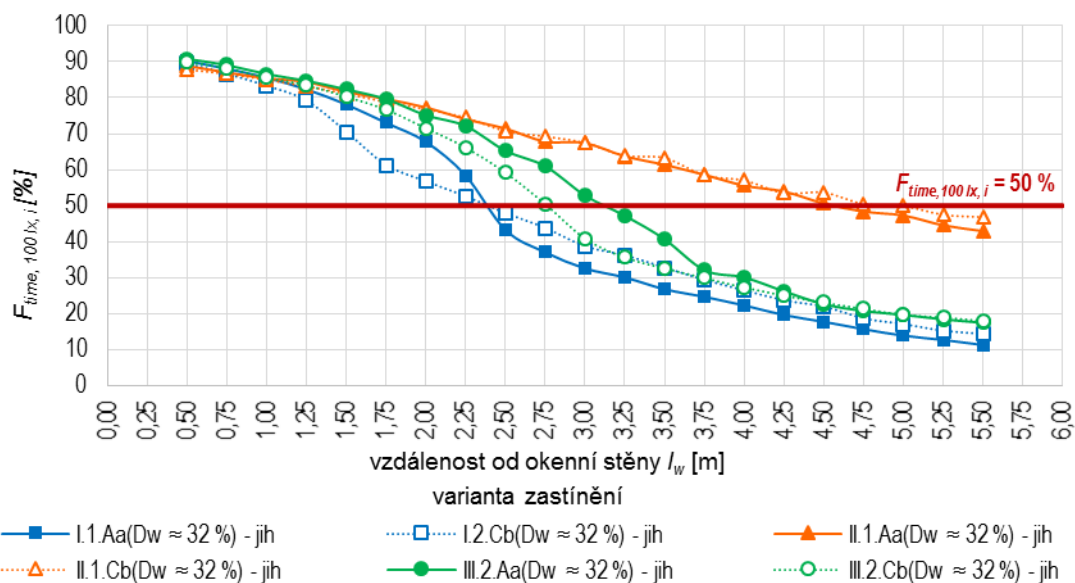
Obr. 7.8.1 Závislost činitele denní osvětlenosti D_i v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění (autor)



Poznámka:

Popis variant zastínění I.1.Aa $D_w \approx 32\%$ - III.2.Cb $D_w \approx 32\%$ uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2.

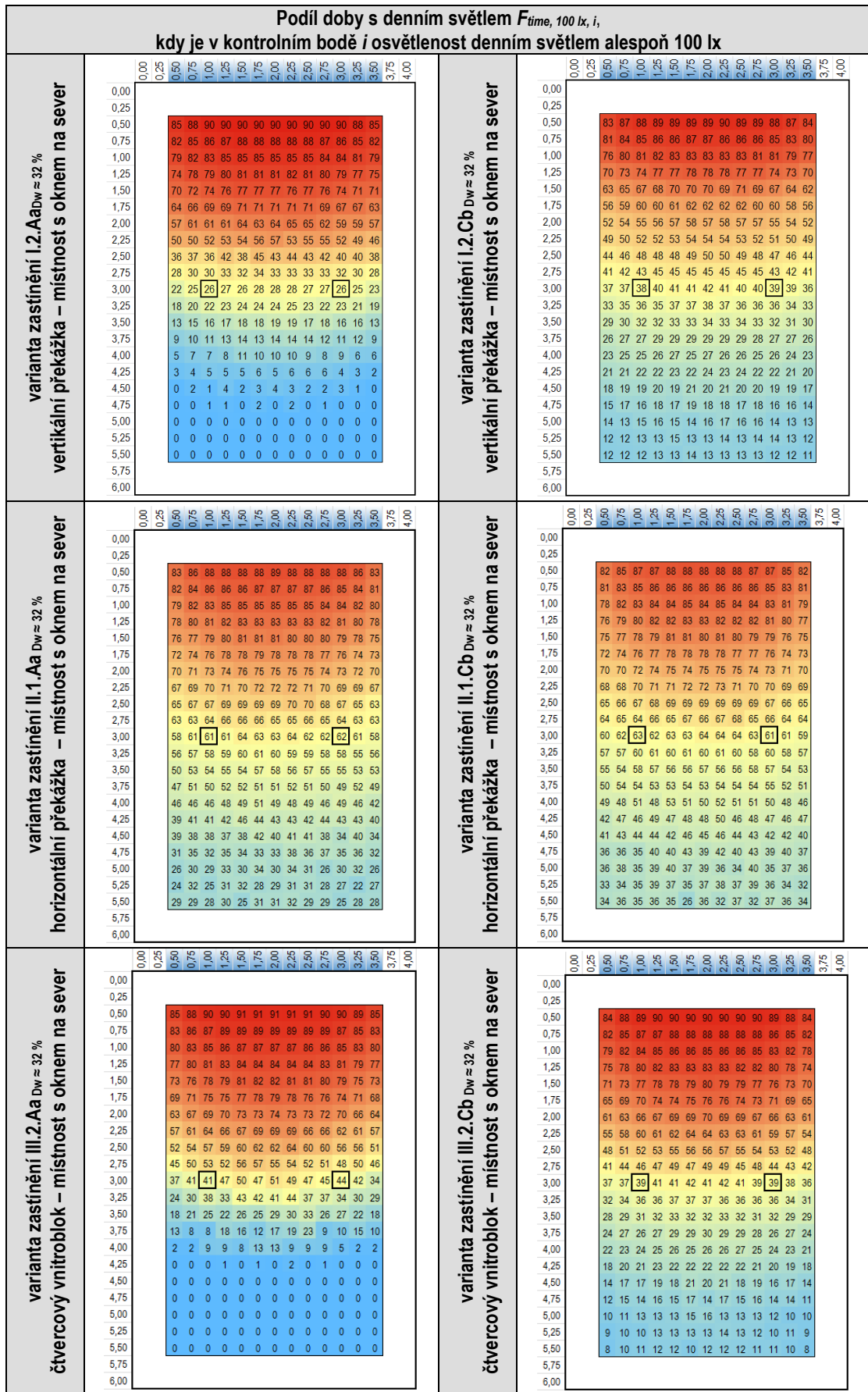
Obr. 7.8.3 Závislost kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění se severně orientovanou místností (autor)



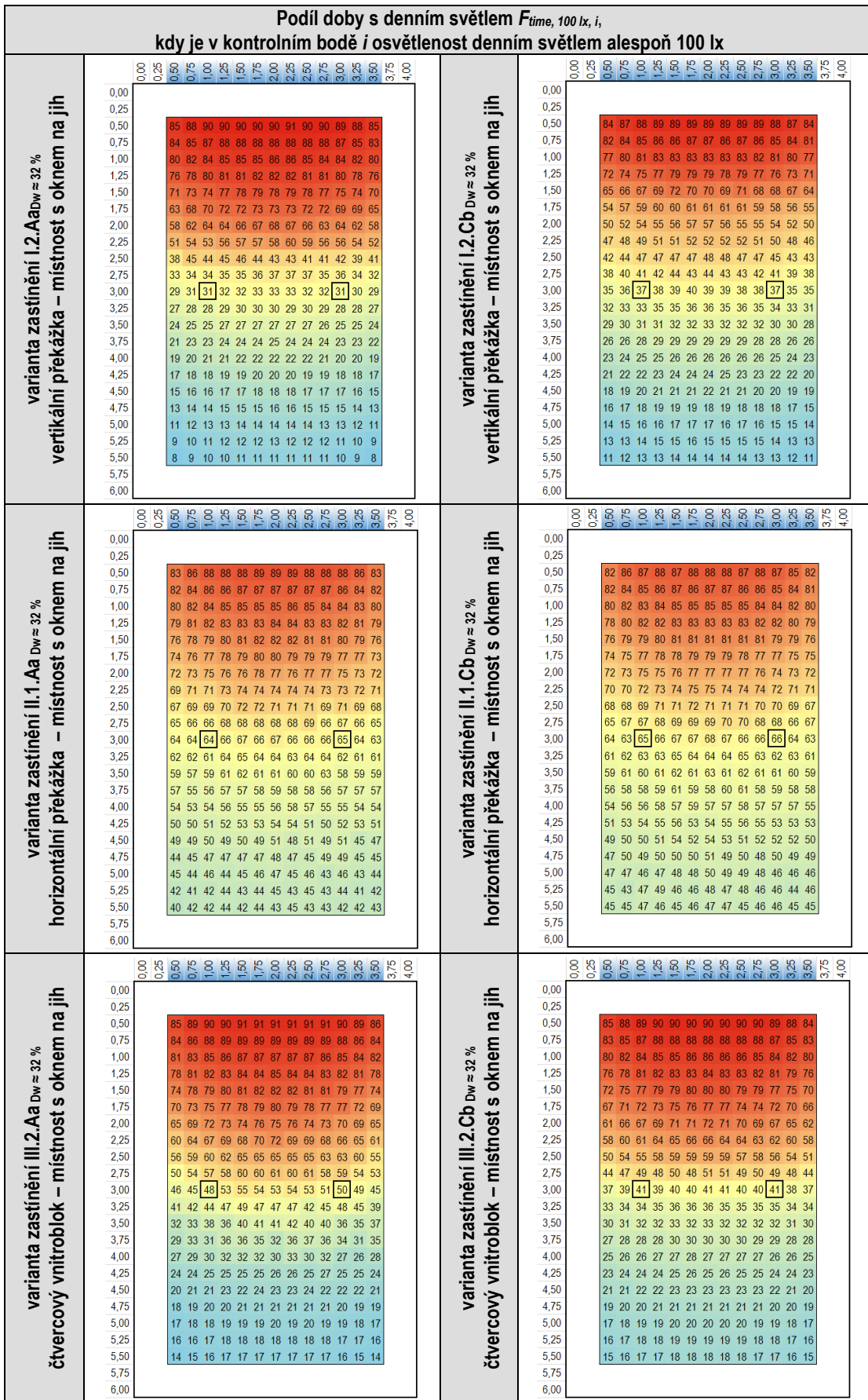
Poznámka:

Popis variant zastínění I.1.Aa $D_w \approx 32\%$ - III.2.Cb $D_w \approx 32\%$ uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2.

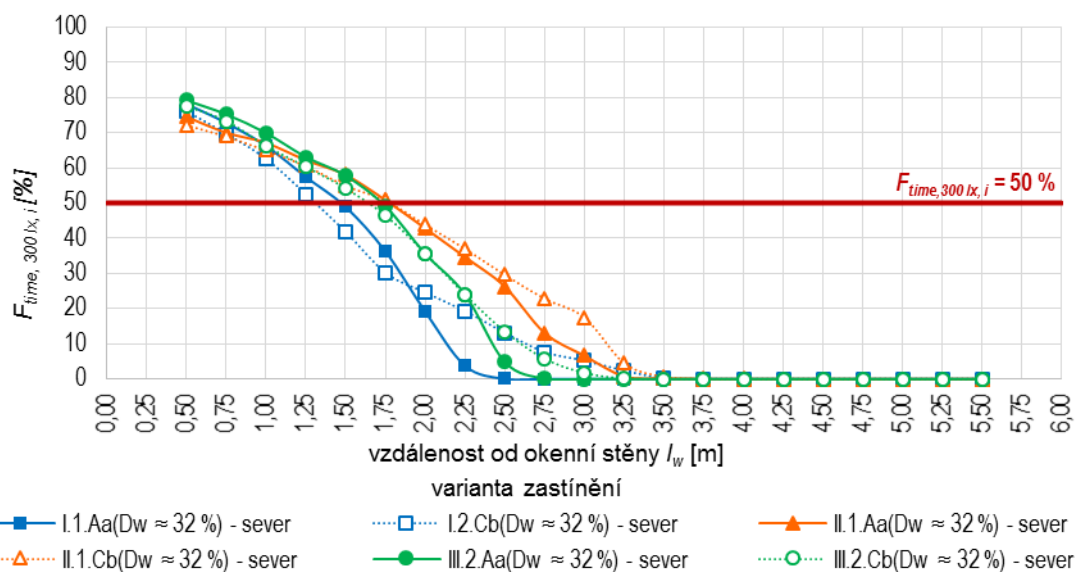
Obr. 7.8.4 Závislost kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění s jižně orientovanou místností (autor)



Obr. 7.8.5 Podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i v místnosti s oknem na sever pro uvedené varianty zastínění (autor)



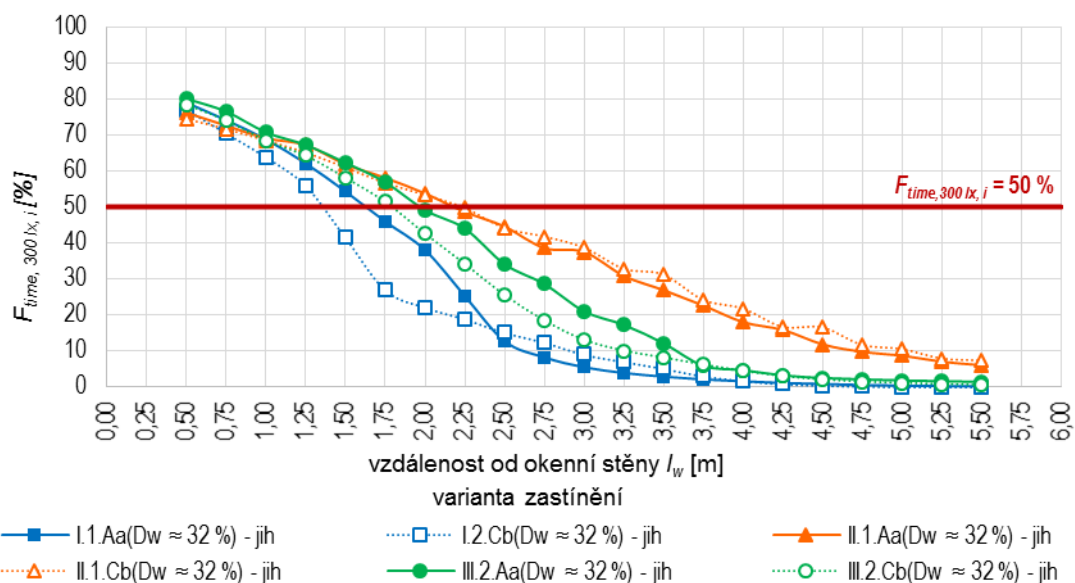
Obr. 7.8.6 Podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i v místnosti s oknem na jih pro uvedené varianty zastínění (autor)



Poznámka:

Popis variant zastínění I.1.Aa $D_w \approx 32\%$ - III.2.Cb $D_w \approx 32\%$ uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2.

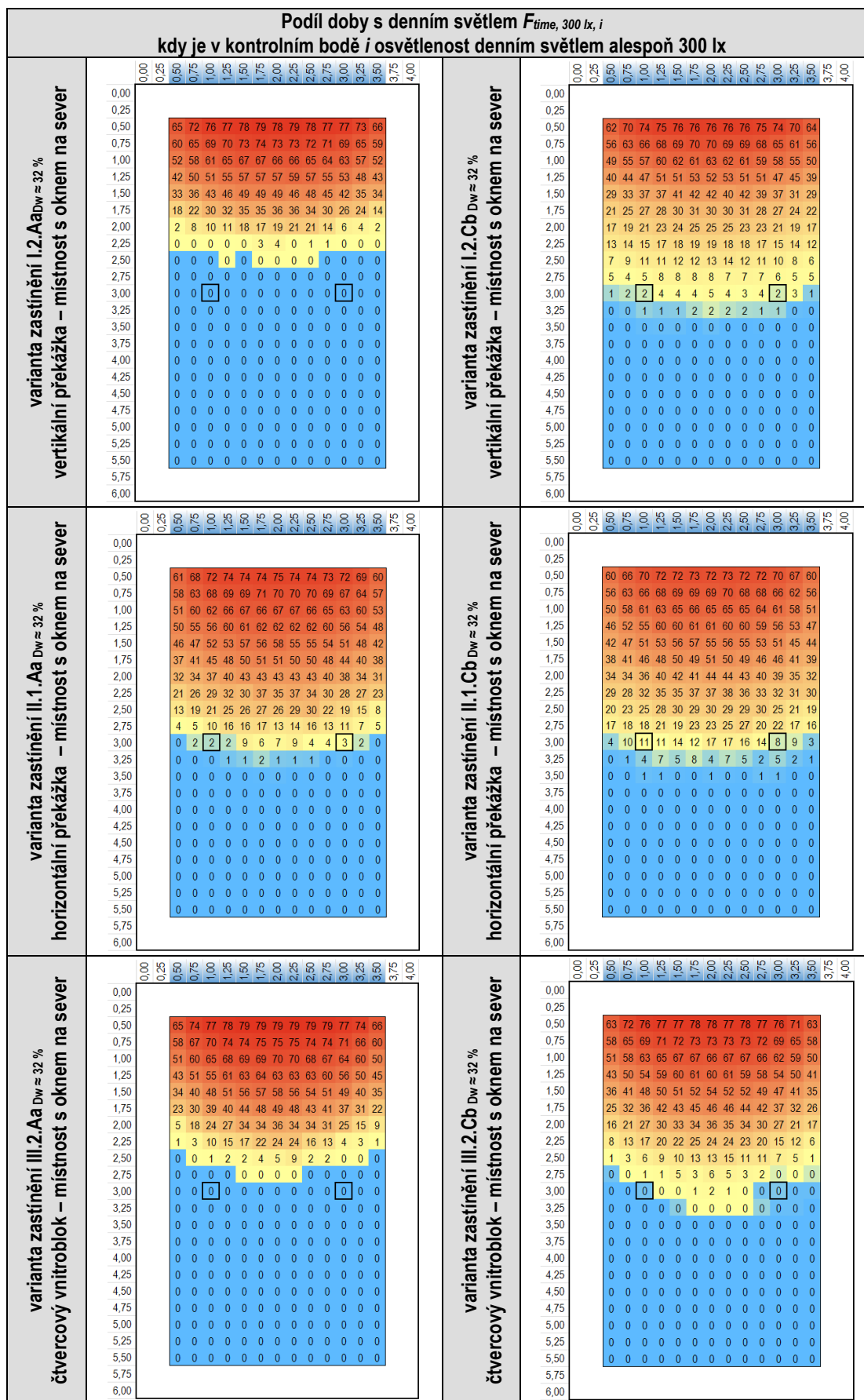
Obr. 7.8.7 Závislost kritéria $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění se severně orientovanou místností (autor)



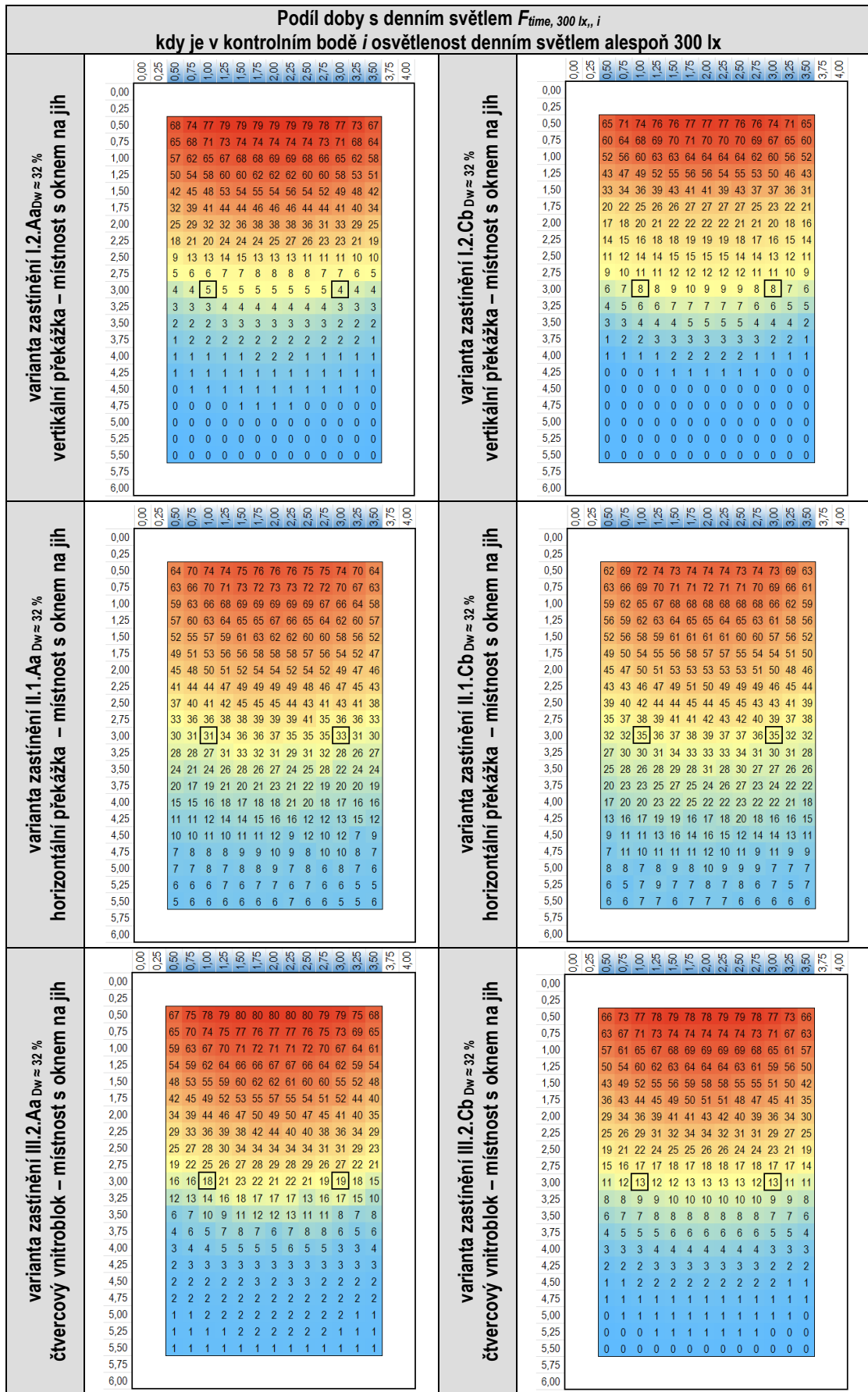
Poznámka:

Popis variant zastínění I.1.Aa $D_w \approx 32\%$ - III.2.Cb $D_w \approx 32\%$ uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2.

Obr. 7.8.8 Závislost kritéria $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění s jižně orientovanou místností (autor)



Obr. 7.8.9 Podíl doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech místnosti s oknem na sever pro uvedené varianty zastínění (autor)



Obr. 7.8.10 Podíl doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech místnosti s oknem na jih pro uvedené varianty zastínění (autor)

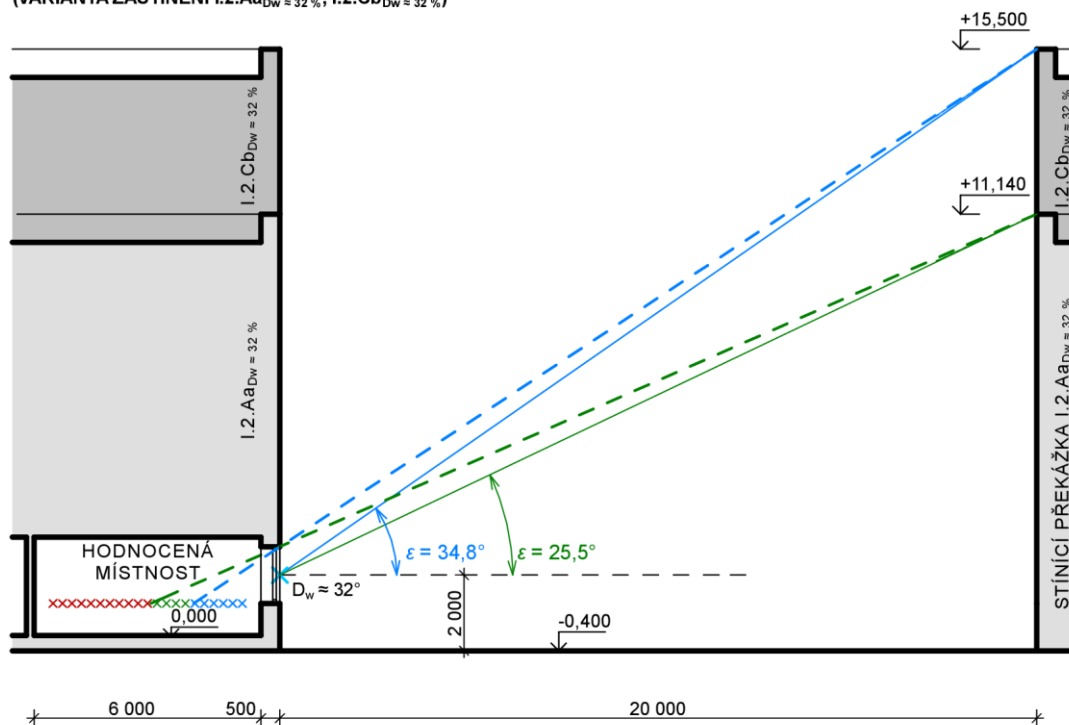
7.8.1 Vyhodnocení činitele denní osvětlenosti v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě $D_w \approx 32 \%$

Rozložení hodnot činitele denní osvětlenosti D_i v kontrolních bodech uvnitř místnosti je zobrazeno na obr. 7.8.2. Závislost hodnot činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okna ilustruje graf na obr. 7.8.1. V tomto grafu je vyznačena minimální cílová hodnota 0,7 % a cílová hodnota 2,0 % činitele denní osvětlenosti. Přestože u všech hodnocených variant zastínění bylo dosaženo přibližně shodné hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w , hodnoty činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti se liší pro různé umístění překážek (vertikální překážka, horizontální překážka, vnitroblok) i pro dvojice variant zastínění, které jsou tvořeny stejným typem stínících překážek.

Vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti ve variantě zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ má výšku 11,540 m (úhel stínění $\varepsilon = 25,5^\circ$) a ve variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$ je výška překážky 15,900 m (úhel stínění $\varepsilon = 34,8^\circ$). Hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních povrchů jsou ve variantě zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ poloviční oproti variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$. Odlišné rozložení hodnot činitele denní osvětlenosti D_i v ploše místnosti vyplývá právě z odlišné výšky vertikální překážky a odlišných hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů. U vertikální překážky ve variantě zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ je úhel stínění menší než u vertikální překážky ve variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$. **V důsledku menšího úhlu stínění dopadá oblohové světlo ve variantě zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ do kontrolních bodů ve větší hloubce místnosti než ve variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$ (viz obr. 7.8.11).** Z tohoto důvodu jsou v kontrolním bodě uprostřed šířky místnosti zhruba do vzdálenosti 2,25 m od okenní stěny hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší ve variantě zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ (graf na obr. 7.8.1). **U kontrolních bodů ve větší vzdálenosti od okna je však hodnota činitele denní osvětlenosti tvořena pouze nebo převážně odraženou složkou.** V kontrolních bodech ve větší vzdálenosti od okna tedy vzrůstá vliv hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů. Od vzdálenosti přibližně 2,25 m od okenní stěny (graf na obr. 7.8.1) jsou proto hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší u místnosti ve variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$.

Z obr. 7.8.2 a grafu na obr. 7.8.1 je také patrné, že při hodnotě $D_w \approx 32 \%$ je pro stejnou kombinaci činitelů odrazu světla od venkovních povrchů dosaženo vyšších hodnot činitele denní osvětlenosti u **vnitrobloku** (varianta zastínění III.2.Aa $D_w \approx 32 \%$, III.2.Cb $D_w \approx 32 \%$) než u vertikální překážky před oknem (varianta zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$, I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$). Denní osvětlení místnosti umístěné ve středu šířky vnitrobloku je stíněno kromě čelní stěny vnitrobloku také bočními stěnami vnitrobloku. U místnosti umístěné ve středu šířky vnitrobloku je tak hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ dosaženo při výrazně menším úhlu stínění čelní stěnou vnitrobloku ε_a než je úhel stínění ε u vertikální překážky (viz obr. 7.8.11 a obr. 7.8.12). Přes čelní stěnu vnitrobloku tedy při shodné hodnotě D_w dopadá oblohové světlo do kontrolních bodů ve větší hloubce místnosti než u vertikální překážky před oknem, což je také důvod, proč při $D_w \approx 32 \%$ jsou hodnoty činitele denní osvětlenosti v ploše místnosti vyšší u hodnocených vnitrobloků než u hodnocených vertikálních překážek před oknem.

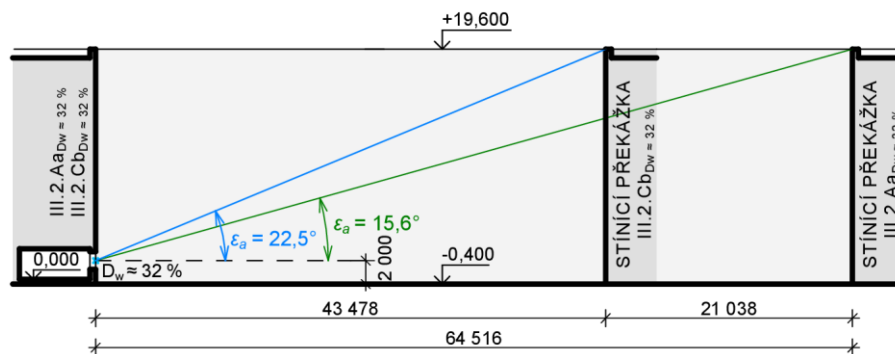
**SCHÉMA ŘEZU HODNOCENOU MÍSTNOSTÍ
(VARIANTA ZASTÍNĚNÍ I.2.Aa_{Dw} = 32 %, I.2.Cb_{Dw} = 32 %)**



- × KONTROLNÍ BODY V MÍSTNOSTI, DO KTERÝCH DOPADÁ OBLOHOVÁ SLOŽKA Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI POUZE VE VARIANTĚ ZASTÍNĚNÍ I.2.Aa_{Dw} = 32 %
- × KONTROLNÍ BODY V MÍSTNOSTI, DO KTERÝCH DOPADÁ OBLOHOVÁ SLOŽKA Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI V OBOU VARIANTÁCH ZASTÍNĚNÍ I.2.Aa_{Dw} = 32 %, I.2.Cb_{Dw} = 32 %
- × KONTROLNÍ BODY V MÍSTNOSTI, DO KTERÝCH DOPADÁ POUZE ODRAŽENÁ SLOŽKA Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI
- × KONTROLNÍ BOD PRO STANOVENÍ HODNOTY D_w
- HRANICE STÍNĚNÍ OBLOHOVÉ SLOŽKY Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI PŘEKÁŽKOU VE VARIANTĚ ZASTÍNĚNÍ I.2.Aa_{Dw} = 32 %
- HRANICE STÍNĚNÍ OBLOHOVÉ SLOŽKY Činitele DENNÍ OSVĚTLENOSTI PŘEKÁŽKOU VE VARIANTĚ ZASTÍNĚNÍ I.2.Cb_{Dw} = 32 %

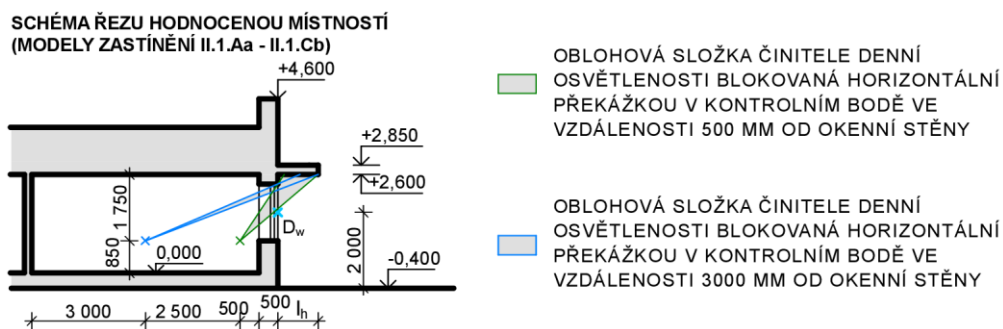
Obr. 7.8.11 Schéma zastínění oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro místnost stíněnou vertikální překážkou před oknem ve variantách zastínění I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, a I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % (autor)

**SCHÉMA ŘEZU HODNOCENOU MÍSTNOSTÍ
(VARIANTA ZASTÍNĚNÍ III.2.Aa_{Dw} = 32 %, III.2.Cb_{Dw} = 32 %)**



Obr. 7.8.12 Schéma zastínění oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro místnost ve středu šířky čtvercového vnitrobloku ve variantách zastínění III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, a III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % (autor)

Horizontální překážka (varianta zastínění II.1.Aa $D_w \approx 32\%$, II.1.Cb $D_w \approx 32\%$) zaujímá vůči kontrolním bodům v místnosti zcela jinou polohu, než vertikální překážka a vnitroblok. **Zatímco vertikální překážka i vnitroblok redukuje oblohovou složku činitele denní osvětlenosti více v bodech v zadní části místnosti než v bodech u okna, horizontální překážka nad oknem blokuje oblohovou složku činitele denní osvětlenosti více pro body u okenní stěny než pro body v zadní části místnosti** (viz obr. 7.8.11, obr. 7.8.13). V důsledku tohoto vlivu horizontální překážky nad oknem na oblohovou složku činitele denní osvětlenosti jsou u vertikální překážky (varianta zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32\%$, I.2.Cb $D_w \approx 32\%$) do vzdálenosti zhruba 1,00 m – 1,25 m od okenní stěny hodnoty činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech ve středu šířky místnosti vyšší než u horizontální překážky (varianta zastínění II.1.Aa $D_w \approx 32\%$, II.1.Cb $D_w \approx 32\%$). Obdobně je tomu také u vnitrobloku (varianta zastínění III.2.Aa $D_w \approx 32\%$, III.2.Cb $D_w \approx 32\%$), kde jsou v kontrolních bodech ve středu šířky místnosti hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší zhruba do vzdálenosti 1,75 m od okenní stěny v porovnání s horizontální překážkou (varianta zastínění II.1.Aa $D_w \approx 32\%$, II.1.Cb $D_w \approx 32\%$). Vlivem vyšších hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů ve variantě zastínění II.1.Cb $D_w \approx 32\%$ oproti variantě zastínění II.1.Aa $D_w \approx 32\%$ jsou v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší zhruba od vzdálenosti 2,25 m od okenní stěny dle obr. 7.8.2.



Obr. 7.8.13 Schéma zastínění oblohového světla pro místnost stíněnou horizontální překážkou nad oknem (autor)

V tab. 7.8.2 jsou pro jednotlivé varianty zastínění uvedeny hodnoty kritérií $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 2,0\%}$ a maximální vzdálenost od okenní stěny $l_{w, 0,7\%}$ [m] a $l_{w, 2,0\%}$ [m], ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti splněna minimální cílová nebo cílová hodnota činitele denní osvětlenosti dle normy ČSN EN 17037 [24]. Z údajů v tab. 7.8.2, obr. 7.8.2 a grafu na obr. 7.8.1 vyplývá, že při přibližně shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32\%$ je nejvyšších hodnot $F_{point, 0,7\%}$ a největší vzdálenosti od okenní stěny $l_{w, 0,7\%}$ dosaženo u horizontální překážky nad oknem ve variantě zastínění II.1.Cb, kde $F_{point, 0,7\%} = 55,31\%$ a $l_{w, 0,7\%} = 3,50$ m. Naopak nejnižší hodnoty těchto kritérií jsou u místnosti stíněné vertikální překážkou s vyššími hodnotami činitele odrazu světla od venkovních povrchů ve variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32\%$, ve které $F_{point, 0,7\%} = 30,77\%$ a $l_{w, 0,7\%} = 2,00$ m. **Při hodnotě $D_w \approx 32\%$ tedy pro porovnaná zastínění rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou kritéria $F_{point, 0,7\%}$ činí 24,54 p. b.** Hodnot činitele denní osvětlenosti alespoň 2,0 % je v hodnocených variantách zastínění dosaženo v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti do vzdálenosti od okenní stěny 1,25 m až 1,50 m a hodnota kritéria $F_{point, 2,0\%}$ se pohybuje od 14,29 % (varianta zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32\%$) do 20,88 % (varianta zastínění III.2.Aa $D_w \approx 32\%$). Oproti kritériu $F_{point, 0,7\%}$ jsou

ve zjištěných hodnotách kritéria $F_{point, 2,0\%}$ při hodnotě $D_w \approx 32\%$ pro hodnocené překážky menší rozdíly, protože na splnění hodnoty činitele denní osvětlenosti 2,0 % se podílí zejména jeho oblohová složka.

Tab. 7.8.2: Maximální vzdálenost, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti splněna cílová a minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti, hodnoty kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32\%$ (autor)

varianta zastínění	typ překážky	$l_{w, 0,7\%}^{1)}$ [m]	$l_{w, 2,0\%}^{2)}$ [m]	$F_{point, 0,7\%}$ [%]	$F_{point, 2,0\%}$ [%]
I.2.Aa $D_w \approx 32\%$	vertikální	2,25	1,25	33,70	17,58
II.1.Aa $D_w \approx 32\%$	horizontální	3,25	1,50	54,21	18,32
III.2.Aa $D_w \approx 32\%$	vnitroblok	2,75	1,50	42,86	20,88
I.2.Cb $D_w \approx 32\%$	vertikální	2,00	1,25	30,77	14,29
II.1.Cb $D_w \approx 32\%$	horizontální	3,50	1,25	55,31	17,58
III.2.Cb $D_w \approx 32\%$	vnitroblok	2,50	1,50	40,66	18,68

Vysvětlivky:

- 1) $l_{w, 0,7\%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo minimální cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti 0,7 %;
- 2) $l_{w, 2,0\%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti 2,0 %.

Poznámka:
Popis variant zastínění uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Na obr. 7.8.2 jsou vyznačeny hodnoty činitele denní osvětlenosti uprostřed šířky místnosti ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn. Jedná se o kontrolní body, ve kterých se ve smyslu čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11] hodnotí **denní osvětlení obytných místností** s bočním denním osvětlením (viz také kapitola 2.5.4.2). Obě tyto hodnoty by měly být vyšší než 0,7 % a průměrná hodnota z těchto dvou hodnot by měla být alespoň 0,9 %. Z hodnocených variant zastínění bylo nejnižších hodnot v těchto dvou bodech dosaženo pro vertikální překážku I.2.Aa $D_w \approx 32\%$ a naopak nejvyšších hodnot pro horizontální překážku II.1.Cb $D_w \approx 32\%$. Při zaokrouhlení na jedno desetinné místo se při hodnotě $D_w \approx 32\%$ hodnoty činitele denní osvětlenosti v těchto dvou kontrolních bodech pohybují od 0,3 % do 0,5 % u vertikálních překážek a vnitrobloku a od 0,7 % do 0,8 % u horizontální překážky. Ani u jedné hodnocené varianty zastínění tedy při hodnotě $D_w \approx 32\%$ nebyl splněn požadavek na průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti 0,9 % z těchto dvou kontrolních bodů pro obytné místnosti. Požadavek na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti 0,7 % v těchto dvou kontrolních bodech byl splněn pouze v obou hodnocených variantách zastínění pro horizontální překážku (II.1.Aa $D_w \approx 32\%$, II.1.Cb $D_w \approx 32\%$). **Požadavky na minimální a průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti pro obytnou místnost by byly v kontrolních bodech vzdálených 1 m od bočních stěn splněny u hodnocených vertikálních překážek a vnitrobloků ve vzdálenosti od okenní stěny zhruba 1,5 m (I.2.Cb $D_w \approx 32\%$) až 2,25 m (III.2.Aa $D_w \approx 32\%$). U hodnocených horizontálních překážek by při zaokrouhlení na desetiny procent byly požadavky na denní osvětlení obytných místností splněny v hloubce zhruba 2,5 m (II.1.Aa $D_w \approx 32\%$) – 2,75 m (II.1.Cb $D_w \approx 32\%$).** Takovýchto výsledků bylo dosaženo, přestože okno hodnocené místnosti má šířku 3 m, výšku 1,5 m a plocha 4,5 m² tohoto okna odpovídá 43,27 % plochy okenní stěny a 18,75 % podlahové plochy místnosti. Z hlediska světelně technických parametrů bylo uvažováno s parametry běžnými pro dnešní okna s tepelněizolačními trojskly (tj. světelná

propustnost zasklení 0,70, podíl prosklené plochy na celkové ploše okna 0,65, celkový činitel znečištění 0,855). Z uvedeného je patrné, že **při hodnotě $D_w \approx 32 \%$ (tj. požadavek normy ČSN 73 0580-1 [8] pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí) je zejména u vertikální překážky a vnitrobloku obtížné ve vzdálenosti 3 m od okenní stěny splnit požadavky na denní osvětlení obytných místností ve smyslu čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11].**

7.8.2 Vyhodnocení podílu doby s denním světlem, kdy je dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě $D_w \approx 32 \%$

Na obr. 7.8.5, obr. 7.8.6 je uveden podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$, který vyjadřuje po jakou část doby s denním světlem je v kontrolním bodě i dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx. Závislost podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti l_w od okenní stěny zobrazují grafy na obr. 7.8.3 a obr. 7.8.4. V těchto grafech je vyznačena hodnota $F_{time, 100 lx, i} = 50 \%$, která vymezuje dosažení osvětlenosti 100 lx v kontrolním bodě po 50 % doby s denním světlem. **Hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ zahrnují oblohové světlo i přímé sluneční světlo.** Vyhodnocení podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ je provedeno bez stínících prostředků. Zejména u jižně orientovaných místností, kde se na denním osvětlení podílí i přímé sluneční světlo, by při zahrnutí stínících prostředků došlo ke snížení hodnoty $F_{time, 100 lx, 50 \%$ z důvodu redukce přímého slunečního záření způsobujícího zrakový a tepelný diskomfort v místnosti.

U místnosti stíněné **vertikální překážkou** ve vzdálenosti 20 m je podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ ovlivněn úhlem stínění a činiteli odrazu světla od venkovních povrchů podobně jako v případě předcházejícího vyhodnocení pomocí činitele denní osvětlenosti. Zhruba do vzdálenosti 2,35 m od okenní stěny severně i jižně orientované místnosti je dosaženo vyšších hodnot $F_{time, 100 lx, i}$ u vertikální překážky ve variantě zastínění I.2.Aa $_{D_w \approx 32 \%$, která má vůči hodnocené místnosti menší úhel stínění (viz graf na obr. 7.8.3, obr. 7.8.4). Od vzdálenosti okolo 2,35 m od okenní stěny severně i jižně orientované místnosti jsou hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ vyšší pro vertikální překážku I.2.Cb $_{D_w \approx 32 \%$, která sice stíní hodnocenou místnost pod větším úhlem, ale zároveň jsou v této variantě zastínění použity vyšší hodnoty činitele odrazu světla od venkovních povrchů než ve variantě zastínění I.2.Aa $_{D_w \approx 32 \%$. Na rozdíl od činitele denní osvětlenosti je hodnota $F_{time, 100 lx, i}$ stanovena včetně přímého slunečního světla. Do okna severně orientované místnosti se tedy odráží také přímé sluneční světlo, která dopadá na naproti stojící jižní fasádu. Z tohoto důvodu jsou ve variantě zastínění I.2.Cb $_{D_w \approx 32 \%$ v severně orientované místnosti obdobné hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ jako ve variantách zastínění I.2.Aa $_{D_w \approx 32 \%$ a I.2.Cb $_{D_w \approx 32 \%$ s jižně orientovanou místností. **Vliv vyšších hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů při stanovení podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ je tedy při porovnání variant zastínění I.2.Aa $_{D_w \approx 32 \%$ a I.2.Cb $_{D_w \approx 32 \%$ výraznější u místnosti se severně orientovaným oknem než u jižně orientované místnosti.** Například v kontrolním bodě uprostřed šířky místnosti v hloubce 4 m je hodnota $F_{time, 100 lx, i}$ ve variantě zastínění I.2.Cb $_{D_w \approx 32 \%$ vyšší než ve variantě zastínění I.2.Aa $_{D_w \approx 32 \%$ o 17 p. b. u severně orientované místnosti, ale pouze o 4 p. b. u jižně orientované místnosti (obr. 7.8.3 až obr. 7.8.6).

U hodnocených variant zastínění s **vnitrobloky** (tj. III.2.Aa $_{D_w \approx 32 \%$, III.2.Cb $_{D_w \approx 32 \%$) je při hodnotě $D_w \approx 32 \%$ dosaženo ve většině kontrolních bodů v severně i jižně orientované místnosti vyšších hodnot $F_{time, 100 lx, i}$ než u posuzovaných variant zastínění s vertikální

překážkou (tj. I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 %). U severně orientované místnosti ve vnitrobloku III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % jsou v některých kontrolních bodech od hloubky 3 m hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ v jednotkách procentních bodů nižší než u severně orientované místnosti stíněné vertikální překážkou I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % (viz obr. 7.8.5, obr. 7.8.6). V ploše místnosti s oknem na sever ve vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % jsou hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ od hloubky 3,75 m v jednotkách procentních bodů nižší než v případě stejně orientované místnosti stíněné vertikální překážkou I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %. U místnosti s oknem na jih ve vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % a III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % jsou v celé ploše místnosti hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ vyšší než při stínění jižně orientované místnosti vertikální překážkou I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 %. U severně orientované místnosti ve vnitrobloku III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % je v kontrolních bodech v ploše místnosti od hloubky zhruba 3,25 m (obr. 7.8.5) dosaženo vyšších hodnot $F_{time, 100 lx, i}$ než ve vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, přičemž tento rozdíl činí v hloubce 4,25 m více než 20 p. b. U místnosti s jižním oknem ve vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % jsou hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ v několika bodech od hloubky 4,25 m nižší maximálně o 1 procentní bod než ve vnitrobloku III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % (obr. 7.8.6). Obdobně jako u hodnocených vertikálních překážek se tedy i u severně orientované místnosti ve vnitroblocích III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % promítá vliv hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů do podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v důsledku odraženého přímého slunečního světla od jižní fasády.

V porovnání s hodnocenými vertikálními překážkami a vnitrobloky se průběh závislosti kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ na vzdálenosti od okenní stěny l_w u **horizontální překážky** nad oknem liší – viz grafy na obr. 7.8.3, obr. 7.8.4. Jak již bylo uvedeno, horizontální překážka nad oknem zastíňuje více kontrolní body u okna než body v zadní polovině místnosti. To je důvodem, proč je u severního i jižního okna pokles kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ v závislosti na vzdálenosti l_w od okenní stěny méně strmý než u hodnocených vertikálních překážek a vnitrobloků. Například u jižně orientované místnosti stíněné horizontální překážkou II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 % jsou v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti hodnoty kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ do hloubky 1,25 m v jednotkách procentních bodů nižší než u vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %. V hloubce místnosti 3 m je hodnota $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolním bodě uprostřed šířky místnosti u horizontální překážky II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 % vyšší o 14 p. b. než u vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %. Se zvětšující se vzdáleností kontrolních bodů od okenní stěny rozdíl v hodnotách $F_{time, 100 lx, i}$ mezi horizontální překážkou II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 % a vnitroblokem III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % dále narůstá a v hloubce 5,5 m je hodnota $F_{time, 100 lx, i}$ vyšší u horizontální překážky o 26 p. b. než u porovnávaného vnitrobloku. Obdobně je tomu také u severně orientované místnosti. Z grafu na obr. 7.8.3, obr. 7.8.4 je také patrné, že u horizontální překážky se do hodnot $F_{time, 100 lx, i}$ promítá méně vliv činitelů odrazu světla od venkovních povrchů než u posuzovaných vertikálních překážek a vnitrobloků. U severně orientované místnosti jsou v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti hodnoty $F_{time, 100 lx, i}$ u varianty zastínění s vyšším činitelem odrazu světla od terénu II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 % vyšší maximálně o 8 p. b. než u varianty zastínění II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 %, přičemž vliv vyšších hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů je patrný zejména v bodech v hloubce 4,25 m a vyšší.

V tab. 7.8.3 jsou pro jednotlivé hodnocené varianty zastínění uvedeny hodnoty kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a maximální vzdálenost $l_w, F_{time, 100 lx, 50 \%}$ [m], ve které je u kontrolních bodů uprostřed šířky místnosti dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem. Při přibližně shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ se

hodnota kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pohybuje v rozmezí 36,26 % (jižně orientovaná místnost stíněná vertikální překážkou I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 %) do 83,52 % (jižně orientovaná místnost stíněná horizontální překážkou II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 %). **Rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ je tedy téměř 50 p. b., ačkoliv hodnota činitele denní osvětlenosti D_w je u všech variant zastínění přibližně 32 %.** Také z hlediska maximální vzdálenosti $l_w, F_{time, 100 lx, 50 \%}$ jsou mezi hodnocenými variantami zastínění velké rozdíly, přičemž se vzdálenost $l_w, F_{time, 100 lx, 50 \%}$ od okenní stěny pohybuje v rozmezí 2,25 m (vertikální překážka I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % se severně orientovanou místností, vertikální překážky I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % s jižně orientovanou místností) do 5,00 m (horizontální překážka nad oknem jižně orientované místnosti II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 %). **Z provedených porovnání pro identickou místnost tedy vyplývá, že pro hodnocené varianty zastínění při přibližně stejné hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ byly při zastínění různými typy stínících překážek zjištěny výrazně odlišné výsledky podílu doby s denním světlem, kdy je v kontrolních bodech dosažena osvětlenost minimálně 100 lx.**

Na obr. 7.8.5, obr. 7.8.6 jsou uprostřed hloubky místnosti ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn vyznačeny kontrolní body, ve kterých se hodnotí dle ČSN 73 0580-2 [11] hodnoty činitele denní osvětlenosti v **obytných místnostech** s převažujícím bočním denním osvětlením. V těchto bodech je dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx u severně a jižně orientovaných místností po následující část doby s denním světlem: 26 % – 39 % u vertikálních překážek I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % a I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, 39 % – 50 % u vnitrobloků III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % a III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % a 61 % - 65 % u horizontálních překážek II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 % a II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 %.

Tab. 7.8.3: Maximální vzdálenost, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx minimálně pro 50 % doby s denním světlem, hodnoty kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32 \%$ (autor)

varianta zastínění	typ překážky	severní okno		jižní okno	
		$l_w, 100 lx, 50 \%^{1)}$ [m]	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$l_w, 100 lx, 50 \%^{1)}$ [m]	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]
I.2.Aa _{Dw} ≈ 32 %	vertikální	2,25	37,36	2,25	38,10
II.1.Aa _{Dw} ≈ 32 %	horizontální	3,75	65,93	4,50	78,02
III.2.Aa _{Dw} ≈ 32 %	vnitroblok	3,00	47,25	3,00	50,55
I.2.Cb _{Dw} ≈ 32 %	vertikální	2,50	38,10	2,25	36,26
II.1.Cb _{Dw} ≈ 32 %	horizontální	4,00	69,96	5,00	83,52
III.2.Cb _{Dw} ≈ 32 %	vnitroblok	2,50	42,12	2,75	44,32

Vysvětlivka:
1) $l_w, 100 lx, 50 \%$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 100 lx pro podíl doby s denním světlem alespoň 50 %

Poznámka:
Popis variant zastínění uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

7.8.3 Vyhodnocení podílu doby s denním světlem, kdy je dosaženo osvětlenosti alespoň 300 lx v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě $D_w \approx 32 \%$

Na obr. 7.8.9 a obr. 7.8.10 jsou uvedeny hodnoty kritéria $F_{time, 300 lx, i}$, které vyjadřuje podíl doby s denním světlem, po kterou je osvětlenost v kontrolním bodě i minimálně 300 lx. Závislost podílu doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti l_w od okenní stěny znázorňují grafy na obr. obr. 7.8.7 a obr. 7.8.8. V těchto grafech

je také vyznačena hodnota $F_{time, 300 lx, i} = 50 \%$, která vymezuje dosažení osvětlenosti 300 lx v kontrolním bodě po 50 % doby s denním světlem. **Hodnoty $F_{time, 300 lx, i}$ jsou stanoveny včetně přímého slunečního světla.** Vyhodnocení je však provedeno bez stínících prostředků, které by eliminovaly negativní vliv přímého slunečního záření na zrakovou a tepelnou pohodu. Zahrnutím stínících prostředků do hodnocení by došlo k poklesu hodnot $F_{point, 300 lx, 50 \%$ zejména u místností s oknem na jih, kde se na zajištění denního osvětlení podílí i přímé sluneční světlo.

Osvětlenost 300 lx je v místnosti zajišťována převážně oblohovým světlem nebo přímým slunečním světlem. U místností stíněných vertikální překážkou (I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 %) nebo vnitroblokem (III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 %) je nejvyšší úhel stínění ε dosažen u vertikální překážky I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % a naopak nejmenší úhel stínění čelní stěnou ε_a je u vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % (viz obr. 7.8.11, obr. 7.8.12). Z těchto variant zastínění v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti poklesne hodnota $F_{time, 300 lx, i}$ pod 50 % v nejmenší vzdálenosti od okenní stěny u varianty zastínění I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % s největším úhlem stínění a naopak v největší vzdálenosti od okenní stěny u varianty zastínění III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, s nejmenším úhlem stínění (viz graf obr. 7.8.7 a obr. 7.8.8).

Z křivek vyjadřujících závislost hodnoty kritéria $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolním bodě i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny v grafu na obr. 7.8.7 a obr. 7.8.8 je také patrné, že vliv činitelů odrazu světla od venkovních povrchů na podíl doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ je vyšší u severně orientované místnosti, do které se odráží přímé sluneční světlo dopadající na naproti stojící jižní fasádu. V kontrolních bodech jižně orientované místnosti stíněné vertikální překážkou I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % jsou hodnoty $F_{time, 300 lx, i}$ vyšší než u místnosti stíněné překážkou I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % od vzdálenosti zhruba 2,5 m od okenní stěny, ale u severně orientované místnosti jsou tyto hodnoty vyšší již od vzdálenosti zhruba 1,85 m od okenní stěny (viz obr. 7.8.7 a obr. 7.8.8). Hodnoty $F_{time, 300 lx, i}$ jsou ve variantě zastínění I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % oproti variantě zastínění I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % vyšší pouze v jednotkách procentních bodů u místnosti s oknem na jih, zatímco u místnosti s oknem na sever jsou v kontrolních bodech v hloubce 2,25 m tyto hodnoty vyšší až o 18 p. b. (viz obr. 7.8.8 a obr. 7.8.9).

Ve všech hodnocených variantách zastínění se severně orientovanou místností je ve velké části kontrolních bodů zjištěna nulová doba s denním světlem, ve které osvětlenost dosáhne alespoň 300 lx. U místnosti s oknem na jih jsou ve všech kontrolních bodech u horizontální překážky II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 % i II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 % a u vnitrobloku III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % dosaženy nenulové hodnoty kritéria $F_{time, 300 lx, i}$, ačkoliv v zadní části místnosti se tyto hodnoty pohybují v jednotkách procent. V případě jižně orientované místnosti stíněné vertikální překážkou I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 %, I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % nebo vnitroblokem III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % jsou minimálně v celé jedné řadě kontrolních bodů hodnoty $F_{time, 300 lx, i}$ rovny nule.

V tab. 7.8.4 jsou uvedeny maximální vzdálenosti $l_{w, 300 lx, 50 \%$, ve kterých je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo osvětlenosti 300 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem, a dále hodnoty kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%$. Z této tabulky vyplývá, že při přibližně shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w se výsledky pro různé druhy překážek liší zejména u jižně orientované místnosti. Nejvyšší hodnota kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%$ = 32,23 % byla zjištěna u varianty zastínění s horizontální překážkou II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 % nad oknem jižně orientované místnosti a nejnižší hodnota tohoto kritéria o hodnotě 16,48 % byla stanovena pro

severně orientovanou místnost stíněnou vertikální překážkou I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 %. V kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti bylo osvětlenosti 300 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem dosaženo maximálně do hloubky 2,25 m v případě jižně orientované místnosti s horizontální překážkou II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 %. Naopak nejmenší vzdálenost $l_{w, 300 \text{ lx}, 50 \%} = 1,25 \text{ m}$ byla stanovena pro vertikální překážku I.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % u severně orientované místnosti a pro vertikální překážku I.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % u místnosti s oknem na sever i na jih. **Při přibližně stejné hodnotě $D_w \approx 32 \%$ bylo pro porovnávané typy překážek dosaženo odlišných hodnot kritéria $F_{time, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ v hodnocené místnosti v závislosti na geometrii hodnocené situace, hodnotách činitele odrazu světla venkovních povrchů a orientaci místnosti.**

Tab. 7.8.4: Maximální vzdálenost, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 300 lx minimálně pro 50 % doby s denním světlem, hodnoty kritéria $F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32 \%$ (autor)

varianta zastínění	typ překážky	severní okno		jižní okno	
		$l_{w, 300 \text{ lx}, 50 \%}^{1)}$ [m]	$F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ [%]	$l_{w, 300 \text{ lx}, 50 \%}^{1)}$ [m]	$F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ [%]
I.2.Aa _{Dw} ≈ 32 %	vertikální	1,25	17,95	1,50	21,61
II.1.Aa _{Dw} ≈ 32 %	horizontální	1,75	23,81	2,00	30,77
III.2.Aa _{Dw} ≈ 32 %	vnitroblok	1,50	20,88	1,75	26,74
I.2.Cb _{Dw} ≈ 32 %	vertikální	1,25	16,48	1,25	17,22
II.1.Cb _{Dw} ≈ 32 %	horizontální	1,75	22,71	2,25	32,23
III.2.Cb _{Dw} ≈ 32 %	vnitroblok	1,50	20,51	1,75	23,81

Vysvětlivka:
1) $l_{w, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 300 lx pro podíl doby s denním světlem alespoň 50 %

Poznámka:
Popis variant zastínění uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Na obr. 7.8.8 a obr. 7.8.9 jsou také vyznačeny body, ve kterých by se v **obytné místnosti** hodnotilo splnění činitele denní osvětlenosti dle normy ČSN 73 0580-2 [11]. U všech hodnocených variant zastínění pro severně orientované místnosti a pro jižně orientovanou místnost stíněnou oběma vertikálními překážkami jsou v těchto dvou bodech hodnoty $F_{time, 300 \text{ lx}, i}$ nulové nebo se pohybují v jednotkách procent. U místnosti s oknem na jih stíněným horizontální překážkou II.1.Aa_{Dw} ≈ 32 % nebo II.1.Cb_{Dw} ≈ 32 % jsou v těchto dvou bodech hodnoty $F_{time, 300 \text{ lx}, i}$ od 31 % do 35 %. U vnitrobloků III.2.Aa_{Dw} ≈ 32 % a III.2.Cb_{Dw} ≈ 32 % s jižně orientovanou místnosti v těchto dvou bodech hodnota $F_{time, 300 \text{ lx}, i}$ dosahuje 13 % až 19 %.

7.8.4 Shrnutí k dennímu osvětlení v místnosti stíněné rozdílnými překážkami při hodnotě činitele denní osvětlenosti hodnotě $D_w \approx 32 \%$

V kapitole bylo porovnáno rozložení hodnot činitele denní osvětlenosti D_i a kritérií $F_{time, 100 \text{ lx}, i}$ a $F_{time, 300 \text{ lx}, i}$ v ploše horizontální srovnávací roviny identických místností, u kterých bylo dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ při zastínění různými typy stínících překážek (vertikální překážka před oknem, horizontální překážka nad oknem a čtvercový vnitroblok – popis viz tab. 7.8.1). Porovnávané varianty zastínění se kromě geometrie lišily také hodnotami světelné reflektance od venkovních povrchů.

V tab. 7.8.5 jsou pro hodnocené varianty zastínění zrekapitulovány hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$, kterých bylo pro hodnocenou místnost dosaženo při jejím zastínění rozdílnými typy překážek. Z této tabulky je patrné, že **pro dvojici variant zastínění** (tj. například I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ a I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$) **se při $D_w \approx 32 \%$ liší hodnoty stejného hodnotícího kritéria maximálně o jednotky procentních bodů**. Například u místnosti se severně orientovaným oknem stíněné vertikální překážkou ve vzdálenosti 20 m od budovy s hodnocenou místností se pro variantu zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ liší hodnota kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ o 0,74 p. b. oproti variantě zastínění I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$. **Ačkoliv jsou hodnoty kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pro variantu zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$ a I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$ téměř shodné, je z obr. 7.8.3 a obr. 7.8.5 zřejmé, že rozložení denního osvětlení v místnosti se pro obě varianty zastínění liší v důsledku odlišné geometrie stínících překážek a odlišných činitelů odrazu světla od venkovních povrchů.**

Tab. 7.8.5: Rekapitulace hodnot kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32 \%$ (autor)

varianta zastínění	typ překážky	D_w [%]	severní okno		jižní okno		$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]
			$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]		
I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$	vertikální	32,04	37,36	17,95	38,10	21,61	33,70	17,58
II.1.Aa $D_w \approx 32 \%$	horizontální	31,87	65,93	23,81	78,02	30,77	54,21	18,32
III.2.Aa $D_w \approx 32 \%$	vnitroblok	32,43	47,25	20,88	50,55	26,74	42,86	20,88
I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$	vertikální	32,02	38,10	16,48	36,26	17,22	30,77	14,29
II.1.Cb $D_w \approx 32 \%$	horizontální	31,78	69,96	22,71	83,52	32,23	55,31	17,58
III.2.Cb $D_w \approx 32 \%$	vnitroblok	32,11	42,12	20,51	44,32	23,81	40,66	18,68
Poznámka: Popis variant zastínění uveden v tab. 7.8.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.								

Výraznější rozdíly ve sledovaných kritériích $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ jsou při porovnání zastínění místnosti různými typy stínících překážek. Hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 % je splněna (kritérium $F_{point, 0,7 \%}$) při zastínění místnosti vertikální překážkou I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$ ve 30,77 % kontrolních bodů, v případě zastínění této místnosti vnitroblokem III.2.Cb $D_w \approx 32 \%$ ve 40,66 % kontrolních bodů a v případě zastínění okna místnosti horizontální překážkou II.1.Cb $D_w \approx 32 \%$ v 55,31 % kontrolních bodů. Obdobně se liší také výsledky pro rozdílné stínící překážky při hodnocení kritériem $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ u severně i jižně orientované místnosti. U kritérií $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (při shodné orientaci hodnocené místnosti) a $F_{point, 2,0 \%}$ jsou rozdíly ve výsledcích pro různé typy stínících překážek menší, protože tato kritéria jsou u zastíněných místností splnitelná zejména v kontrolních bodech v blízkosti okna, do kterých nedopadá pouze odražené denní světlo. Z tohoto porovnání tedy vyplývá, že **přibližně shodná hodnota činitele denní osvětlenosti D_w má pro různé typy stínících překážek (tj. vertikální překážka, horizontální překážka, vnitroblok) odlišnou vypovídající hodnotu z hlediska denního osvětlení uvnitř zastíněné místnosti.**

V rámci analýzy hodnot činitele denní osvětlenosti uvnitř místnosti při hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ (viz kapitola 7.8.1) bylo také zjištěno, že zejména u vertikální překážky

a vnitrobloku jsou u hodnocené místnosti v kontrolních bodech pro hodnocení denního osvětlení **obytných místností** s bočním denním osvětlením dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11] v hloubce 3 m výrazně nižší hodnoty činitele denní osvětlenosti než hodnoty požadované normou. I v praxi je přitom zejména u zastíněných obytných místností s větší hloubkou často obtížné dosáhnout ve vzdálenosti 3 m od okna požadovaných hodnot činitele denní osvětlenosti dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11]. Tato situace je z části dána i nižší světelnou propustností dnešních trojskel oproti dříve používaným dvojsklům nebo dvojitému zasklení. U hlubokých obytných místností je pak velmi často přistupováno například k fiktivnímu rozdělení místnosti na obytnou plochu a plochu pro vaření ve smyslu čl. 3.4.1 normy ČSN 73 0580-2 [11] za účelem posunutí hodnocených kontrolních bodů z hloubky 3 m blíže oknu. Tento přístup byl popsán i J. Kaňkou v článku [70]. **Je tedy otázkou k diskusi, zda by namísto fiktivního rozdělování obytných místností nemělo být přistoupeno ke změně normy a stanovit, že kontrolní body pro hodnocení denního osvětlení obytných místností se budou umisťovat například do maximální hloubky 2 m od okenní stěny.** Z analýzy denního osvětlení provedené v kapitole 7.8.1 pro místnost osvětlovanou oknem se světelnou propustností odpovídající dnešním trojsklům vyplynulo, že právě v hloubce 2 m by obvykle ještě bylo možné při hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32\%$ dosáhnout splnění požadavků na minimální a průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11]. V případě místnosti hodnocené v kapitole 7.8.1 by v některých hodnocených případech zastínění i při umístění kontrolních bodů v hloubce 2 m muselo být přistoupeno ke zvětšení okna, použití zasklení s vyšší hodnotou činitele prostupu světla nebo zvoleno členění okna, při kterém bude větší podíl prosklené plochy vůči celé ploše okna. K těmto opatřením by muselo být přistoupeno i přesto, že hodnocená místnost byla navržena s oknem rozměrů 3,0 m × 1,5 m o ploše 4,5 m² (tj. 43,27 % plochy okenní stěny a 18,75 % podlahové plochy místnosti). Při umístění kontrolních bodů v hloubce místnosti 3 m je u zastíněných místností osvětlovaných okny s tepelně izolačními trojskly často dosahováno vyhovujících hodnot činitele denní osvětlenosti dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11] až při ploše okna přes celou plochu okenní stěny místnosti a u místností, kde je hloubka větší než šířka, někdy ani takto velké okno není dostačující. Příliš velké osvětlovací otvory přitom mohou být problematické jak z hlediska tepelně technického, tak z hlediska preferencí některých uživatelů budov, kteří si nepřejí žít „ve výkladní skříni“.

Další možností úpravy hodnocení denního osvětlení obytných místností je připuštění hodnocení nejen pomocí činitele denní osvětlenosti, ale také pomocí hladin osvětlenosti vycházejících z klimatických dat. Ačkoliv v kontrolních bodech uprostřed hloubky místnosti nebylo u vnitrobloku a vertikálních překážky před oknem dosaženo ani hodnot vyhovujících minimální hodnotě činitele denní osvětlenosti dle čl. 3.2.2 normy ČSN 73 0580-2 [11], byl v těchto bodech zjištěn minimálně 26 % podíl doby s denním světlem, kdy hodnota činitele denní osvětlenosti překročila 100 lx. Hladina osvětlenosti v úrovni 100 lx dle normy ČSN EN 17037 [24] odpovídá pro Českou republiku minimální cílové hodnotě činitele denní osvětlenosti 0,7 %. Dle normy ČSN EN 17037 [24] by minimální cílová hodnota osvětlenosti 100 lx ale měla být splněna po 50 % doby s denním světlem. Norma ČSN EN 17037 [24] v současnosti (listopad 2019) u požadavků na příspěvek denního světla v prostoru nerozlišuje, zda se jedná o místnost obytnou, kancelář nebo školu.

7.9 ZÁVISLOST KRITÉRIÍ PRO HODNOCENÍ KVANTA DENNÍHO SVĚTLA V PROSTORU NA ČINITELI DENNÍ OSVĚTLENOSTI D_w

V předcházející kapitole bylo zjištěno, že pro dvojice analyzovaných variant zastínění (tj. například vertikální překážka I.2.Aa $_{D_w} \approx 32\%$ a I.2.Cb $_{D_w} \approx 32\%$) bylo při přibližně shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32\%$ dosaženo obdobných hodnot kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ uvnitř místnosti. Při hodnotě $D_w \approx 32\%$ se však hodnoty těchto sledovaných kritérií uvnitř místnosti lišily pro rozdílné způsoby zastínění (např. místnost s oknem na sever stíněná vertikální překážkou I.2.Aa $_{D_w} \approx 32\%$ a horizontální překážkou II.1.Aa $_{D_w} \approx 32\%$) v rámci posuzovaných variant zastínění.

V návaznosti na tato zjištění bude provedena analýza závislosti hodnotících kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 2,0\%}$ na činiteli denní osvětlenosti D_w . Tato analýza bude provedena pro modely zastínění dle kapitoly 7.7 a v kontinuitě s předcházející kapitolou budou hodnoceny dvojice modelů zastínění s nejnižšími a nejvyššími použitými činiteli odrazu světla. Konkrétně se tedy jedná o dvojice modelů zastínění: I.2.Aa a I.2.Cb (vertikální překážka), II.1.Aa a II.1.Cb (horizontální překážka), III.2.Aa a III.2.Cb (čtvercový vnitroblok). U modelů zastínění I.2.Aa, II.1.Aa a III.2.Aa je činitel odrazu světla od terénu 0,10 a činitel odrazu světla od venkovních překážek a průčelí budov 0,20. V modelech zastínění I.2.Cb, II.1.Cb a III.2.Cb je uvažováno s činitelem odrazu světla od terénu o hodnotě 0,20 a s činitelem odrazu světla od venkovních překážek a průčelí budov o hodnotě 0,40. Popis modelů zastínění je uveden v tab. 7.1.4.

Na základě dat v tabulkách v příloze 12.6 byly sestaveny grafy na obr. 7.9.1 až obr. 7.9.6, které pro vybrané modely zastínění znázorňují závislost kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w . Z uvedených grafů je patrná diference v závislostech hodnotících kritérií na činiteli denní osvětlenosti D_w pro jednotlivé porovnávané modely zastínění. V těchto grafech je také vyznačena hodnota činitele denní osvětlenosti $D_w = 32\%$, která je přílohou B normy ČSN 73 0580-1 požadována z hlediska přístupu světla u běžných prostorů s trvalým pobytem lidí. Přibližně pro tuto hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w bylo pro hodnocené modely zastínění analyzováno denní osvětlení uvnitř místnosti v předcházející kapitole. Kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ jsou stanovena bez stínících prostředků. Zahrnutím stínících prostředků by došlo ke snížení hodnot těchto kritérií zejména u jižně orientovaných místností, ve kterých se na denním osvětlení podílí také přímé sluneční záření, které způsobuje zrakový a tepelný diskomfort uživatelů místnosti.

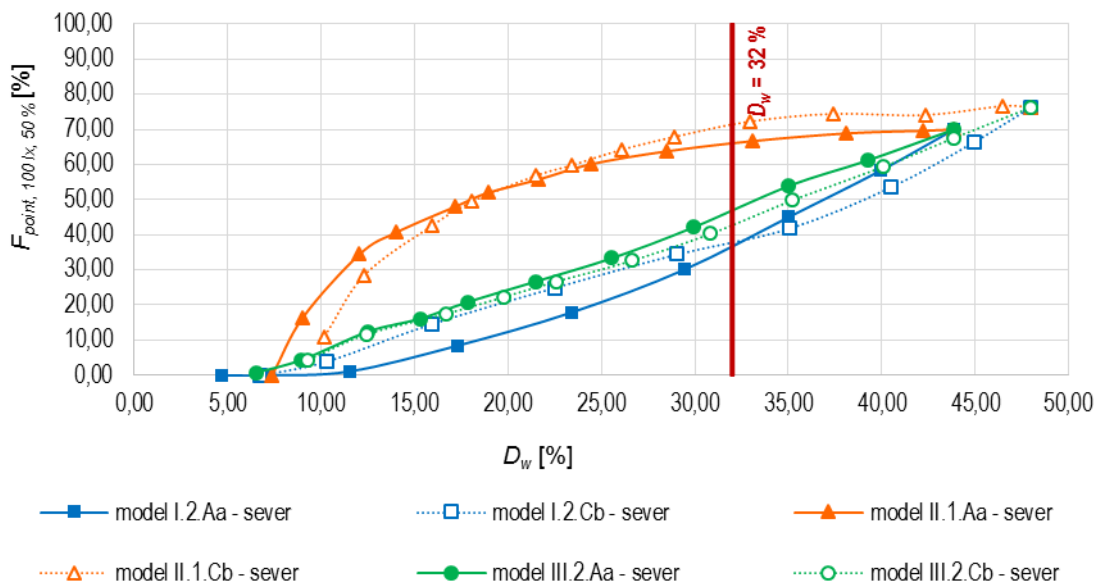
7.9.1 Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w u vertikální překážky před oknem hodnocené místnosti

Pro vertikální překážku před oknem jsou hodnoty kritéria $F_{point, 0,7\%}$ do hodnoty D_w zhruba 30 % vyšší pro model zastínění I.2.Cb než pro model zastínění I.2.Aa (viz graf na obr. 7.9.5). Od hodnoty D_w přibližně 30 % jsou hodnoty kritéria $F_{point, 0,7\%}$ vyšší pro model I.2.Aa. V modelu zastínění I.2.Aa mají venkovní povrchy nižší hodnotu činitele odrazu světla než v modelu I.2.Cb. Vzájemné rozdíly v hodnotách $F_{point, 0,7\%}$ mezi modely I.2.Aa a I.2.Cb nepřekračují 10 p. b. Vyšší hodnoty kritéria $F_{point, 0,7\%}$ od hodnoty D_w okolo 30 % u modelu zastínění I.2.Aa s nízkou reflektancí venkovních povrchů lze vysvětlit nižším úhlem stínění ε .

U modelu I.2.Cb je D_w zhruba rovno 30 % při úhlu stínění ε o hodnotě 38° zatímco u modelu I.2.Aa je této hodnoty D_w dosaženo zhruba při úhlu stínění ε o hodnotě 29° (viz diagramy na obr. 7.6.3, obr. 7.6.4). Při shodných hodnotách D_w do hodnocené místnosti v modelu I.2.Aa s nižšími činiteli odrazu světla od venkovních povrchů dopadá oblohové světlo do více bodů než u místnosti v modelu I.2.Cb s vyšší reflektancí venkovních povrchů. Avšak se zvyšující se výškou stínící překážky (a tedy s klesající hodnotou D_w) se oblohová složka činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech místnosti snižuje a směrem od zadní stěny místnosti k oknu se zvyšuje podíl bodů, jejichž hodnota činitele denní osvětlenosti je tvořena pouze odraženou složkou. Odražená složka činitele denní osvětlenosti přitom kompenzuje úbytek oblohové složky efektivněji při vyšších hodnotách činitele odrazu světla od venkovních povrchů. Mezní úhel stínění ε , při kterém do kontrolních bodů uvnitř hodnocené místnosti ve výšce 0,85 m nad podlahou ve vzdálenosti 0,5 m od okenní stěny přestane dopadat oblohové světlo, je pro hodnocenou situaci 57°. Při tomto úhlu stínění je hodnota činitele denní osvětlenosti D_w ve výšce 2 m nad terénem zhruba 18 % u modelu I.2.Cb a zhruba 13 % u modelu I.2.Aa (viz diagramy na obr. 7.6.3, obr. 7.6.4).

Obdobně jako u kritéria $F_{point, 0,7\%}$ také u kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ u severně i jižně orientované místnosti jsou hodnoty kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ vyšší u modelu I.2.Aa pro hodnotu D_w vyšší než cca 30 % (viz grafy na obr. 7.9.1, obr. 7.9.2). Dynamické simulace denního osvětlení zahrnují i přímé sluneční světlo. U místnosti se severně orientovaným oknem proto vzrůstá význam vyšších hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů, protože přímé sluneční světlo dopadající na jižně orientovanou stínící fasádu se odráží do severně orientovaného okna hodnocené místnosti. Z tohoto důvodu jsou hodnoty kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ oproti modelu I.2.Aa vyšší pro model I.2.Cb u severně orientované místnosti až do hodnoty D_w zhruba 33 %, zatímco u jižně orientované místnosti jsou hodnoty kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ vyšší pro model I.2.Aa už od hodnoty D_w zhruba 30 %. Mezi hodnotami kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ stanovenými pro modely zastínění I.2.Aa a I.2.Cb jsou pro jižně i severně orientovanou místnost absolutní rozdíly přibližně do 10 p. b. při hodnotách činitele denní osvětlenosti D_w do 35 % (tj. nejvyšší požadavek na hodnotu D_w dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8]).

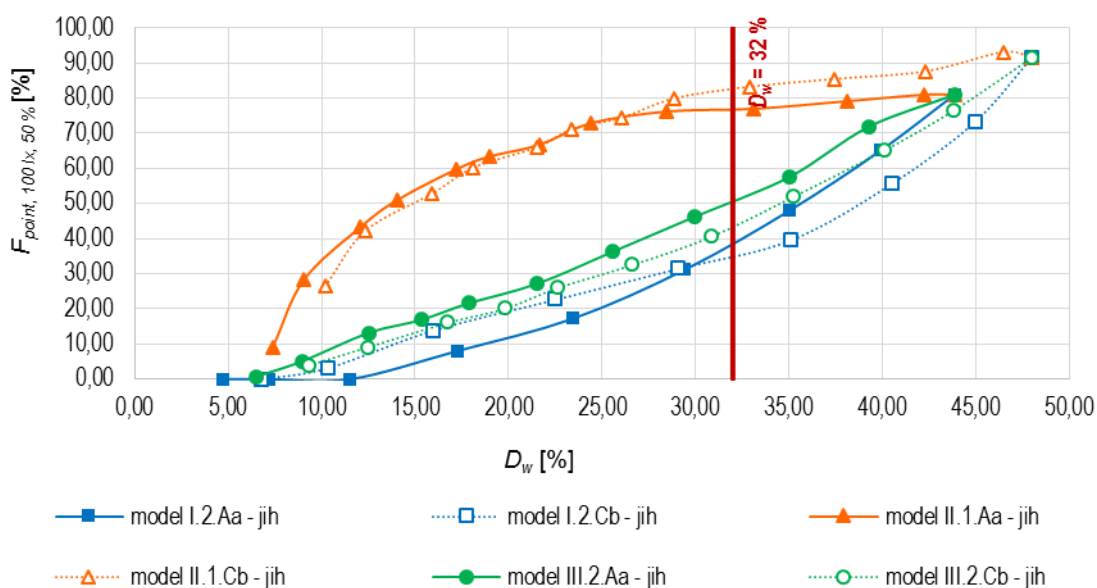
Při shodné hodnotě D_w jsou hodnoty kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ pro severně i jižně orientovanou místnost i kritéria $F_{point, 2,0\%}$ vyšší pro model zastínění I.2.Aa než pro model I.2.Cb (viz grafy na obr. 7.9.3, obr. 7.9.4, obr. 7.9.6). Kvanta denního světla v místnosti nutného pro dosažení činitele denní osvětlenosti 2 % nebo osvětlenosti 300 lx po 50 % doby s denním světlem je možné dosáhnout zejména v bodech v přední části místnosti (u okna). Při úhlu stínění ε menším než 57° je pro hodnocenou situaci denní osvětlení v kontrolních bodech ve vzdálenosti 0,5 m od okenní stěny zajištěno nejen odraženým denním světlem. Zároveň je u modelu I.2.Aa dosaženo shodné hodnoty D_w při nižší výšce stínící budovy než u modelu I.2.Cb. Dopadá-li do kontrolních bodů v místnosti i neodražené denní světlo, je v důsledku menšího úhlu stínění ε při shodné hodnotě D_w vyšší podíl neodraženého denního světla v místnosti u modelu zastínění I.2.Aa než u modelu zastínění I.2.Cb. Z grafů na obr. 7.9.3, obr. 7.9.4, obr. 7.9.6 je také patrné, že pro shodnou hodnotu D_w jsou hodnoty $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ u severně i jižně orientované místnosti nebo hodnoty $F_{point, 2,0\%}$ stanovené pro model zastínění I.2.Aa vyšší o méně než 10 p. b. v porovnání s modelem zastínění I.2.Cb.



Poznámka:

Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

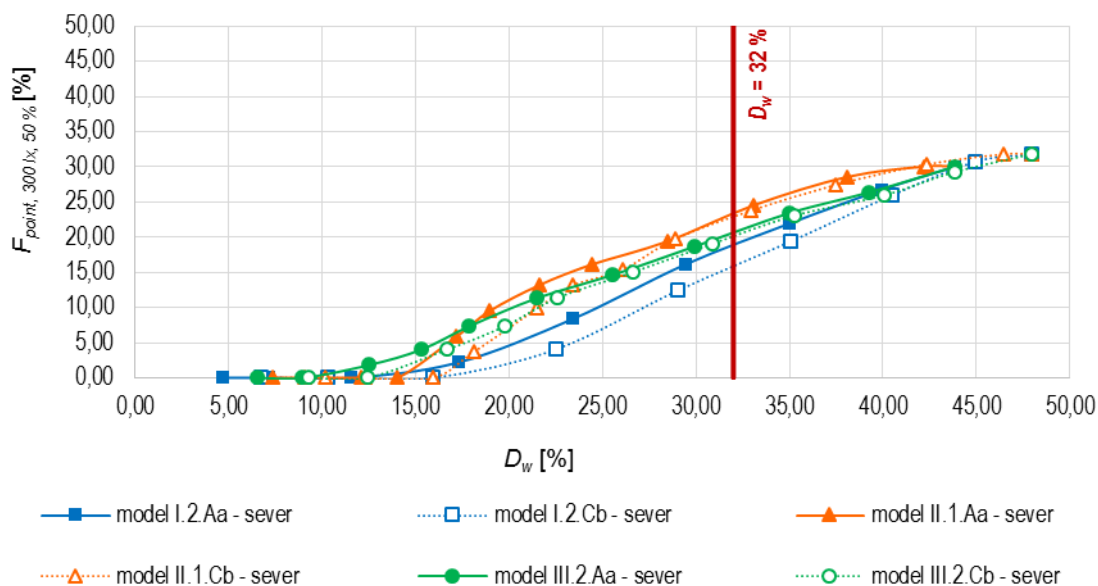
Obr. 7.9.1 Závislost kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – severně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

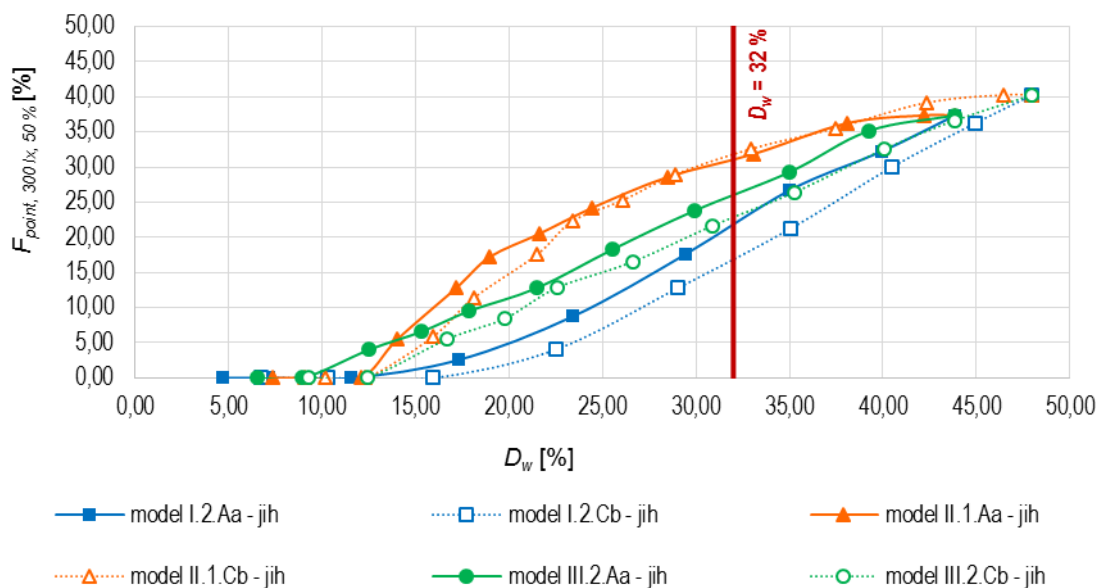
Obr. 7.9.2 Závislost kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – jižně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

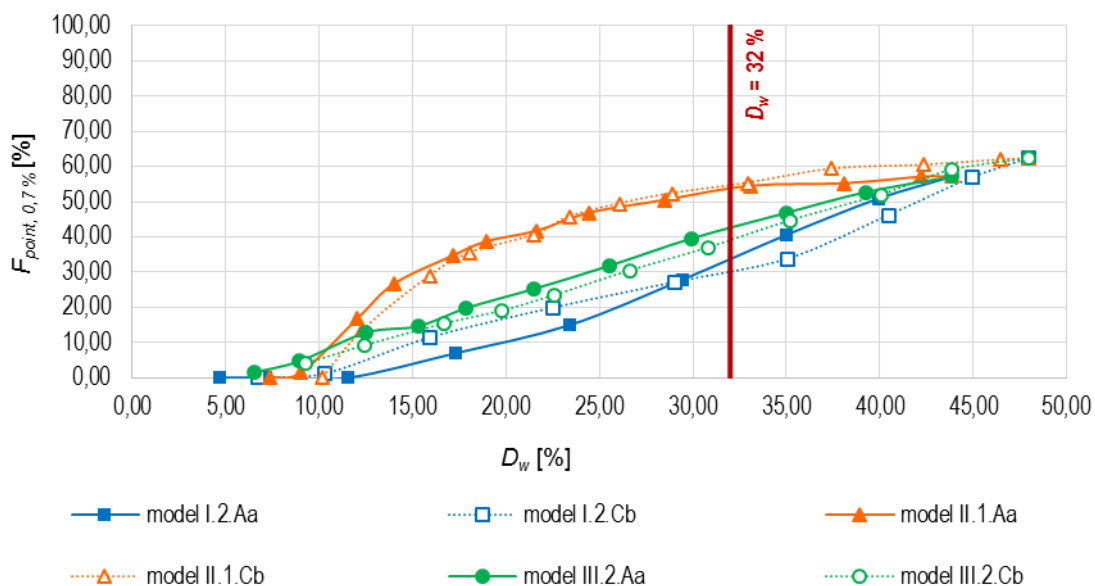
Obr. 7.9.3 Závislost kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – severně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

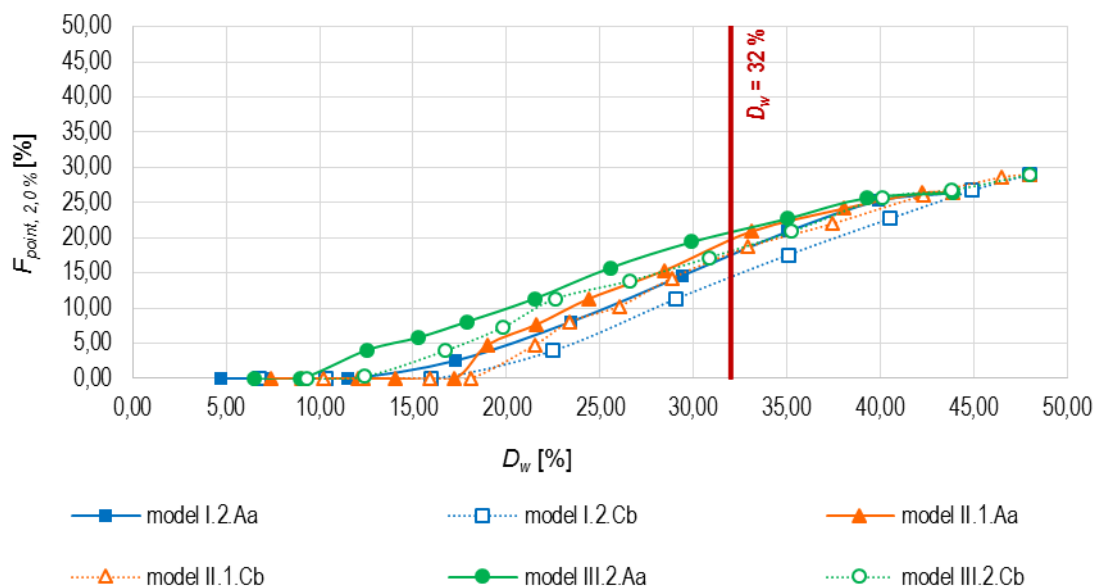
Obr. 7.9.4 Závislost kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – jižně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Obr. 7.9.5 Závislost kritéria $F_{point, 0,7\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – modely zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Obr. 7.9.6 Závislost kritéria $F_{point, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – modely zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)

7.9.2 Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w u čtvercového vnitrobloku

Místnost nacházející se uprostřed šířky čtvercového vnitrobloku má do jisté míry podobný charakter zastínění jako místnost stíněná průběžnou vertikální překážkou před oknem. U místnosti ve vnitrobloku je však denní osvětlení redukováno nejen čelní stěnou vnitrobloku, ale také bočními stěnami vnitrobloku. **Při hodnotě činitele odrazu světla od terénu 0,10 a od průčelí budov 0,20 je u modelu zastínění vnitroblokem III.2.Aa pro shodné hodnoty D_w nižší než 35 % dosaženo vyšších hodnot všech sledovaných kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ než u modelu vertikální překážky I.2.Aa (viz grafy na obr. 7.9.1 až obr. 7.9.6).** Například pro činitel denní osvětlenosti D_w o hodnotě 35 % je hodnota kritéria $F_{point, 0,7 \%}$ u vertikální překážky rovna 40,66 % (model zastínění I.2.Aa), zatímco u vnitrobloku je tato hodnota 46,89 % (model zastínění III.2.Aa, $WI = 0,25$) – viz příloha 12.6. Uvedené je důsledkem toho, že při hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w = 35 \%$ je pro vertikální překážku I.2.Aa úhel stínění ε roven 20° , ale úhel stínění ε_a čelní stěnou vnitrobloku III.2.Aa je pouze $12,68^\circ$ (viz tab. 7.6.6 a příloha 12.6).

U modelu zastínění vnitroblokem III.2.Cb s činiteli odrazu světla od terénu 0,20 a od průčelí budov 0,40 byly rovněž zjištěny vyšší hodnoty posuzovaných kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti v porovnání s vertikální překážkou I.2.Cb se stejnými činiteli odrazu světla při shodné hodnotě D_w . U modelů zastínění I.2.Aa a I.2.Cb s vertikální překážkou byly pro hodnotu D_w nižší než cca 30 % zjištěny vyšší hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ pro model zastínění I.2.Cb s vyššími činiteli odrazu světla od venkovních povrchů. **U modelu zastínění III.2.Cb s vnitroblokem s vyššími činiteli odrazu světla od venkovních povrchů však při shodné hodnotě D_w nejsou hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ vyšší než u modelu zastínění III.2.Aa s vnitroblokem s nižšími činiteli odrazu světla od venkovních povrchů.** Pro model zastínění III.2.Cb s vyššími činiteli odrazu světla od venkovních povrchů jsou dosaženy shodné hodnoty D_w pro vyšší index WI než u modelu vnitrobloku III.2.Aa. Oproti vnitrobloku III.2.Aa je vnitroblok III.2.Cb při shodné výšce a shodné hodnotě D_w užší než vnitroblok III.2.Aa, proto při stejné hodnotě D_w do hodnocených bodů uvnitř místnosti dopadá méně oblohového světla a případně přímého slunečního světla než u vnitrobloku III.2.Aa.

U kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ jsou osvětlenosti uvnitř místnosti ovlivněny také přímým slunečním světlem. **Vliv přímého slunečního světla je patrný zejména u kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ v případě severně orientované místnosti** (viz graf na obr. 7.9.3), do které se odráží přímé sluneční světlo dopadající na jižní fasádu. V důsledku navýšení osvětleností u severně orientované fasády o přímé sluneční světlo odražené od jižní fasády křivky stanovující závislost $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ na hodnotě D_w pro modely vnitrobloků III.2.Aa a III.2.Cb téměř splývají pro hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w vyšší než zhruba 23 %. U místnosti s jižně orientovaným oknem jsou hodnoty kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ stanovené pro model zastínění III.2.Aa s nízkou reflektancí venkovních povrchů vyšší zhruba do 5 p. b. než pro model III.2.Cb (viz graf na obr. 7.9.4). Obdobné rozdíly v hodnotách jako u jižně orientované místnosti jsou u porovnávaných modelů vnitrobloků také při vyhodnocení činitele denní osvětlenosti pomocí kritéria $F_{point, 2,0 \%}$, jak je patrné z grafu na obr. 7.9.6.

7.9.3 Závislost kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w u horizontální překážky nad oknem hodnocené místnosti

Posledním porovnávaným způsobem zastínění je místnost s horizontální překážkou nad oknem. Vliv vertikální překážky a vnitrobloku na denní osvětlení hodnocené místnosti je do jisté míry podobný. V porovnání s hodnocenou vertikální překážkou a vnitroblokem je z grafů na obr. 7.9.1 až obr. 7.9.6 zřejmé, že u **horizontální překážky nad oknem je závislost zejména kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ na hodnotě D_w výrazně odlišná**. Pomocí obr. 7.8.13 lze ilustrovat, že horizontální překážka nad oknem blokuje přístup oblohového světla do kontrolního bodu uprostřed hloubky místnosti méně než u bodu umístěného 500 mm od okenní stěny. Horizontální překážka nad oknem tak oproti vertikální překážce a vnitrobloku redukuje denní osvětlení v místnosti směrem od okenní k zadní stěně. S prodlužující se délkou horizontální překážky vzrůstá její vliv na kvantum denního světla v kontrolních bodech ve větší vzdálenosti od okna. Z diagramů na obr. 7.6.5 a obr. 7.6.6 je patrné, že činitel odrazu světla od horizontální překážky má pro uvažovanou geometrii a použité hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních povrchů malý vliv na hodnoty D_w . Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w je tedy u hodnocené místnosti stíněné horizontální překážkou nad oknem tvořena zejména oblohovou složkou a odraženou složkou od terénu. Do porovnání kvanta denního světla v místnosti u modelů zastínění II.1.Aa a II.1.Cb se tak kromě geometrie modelů promítá zejména činitel odrazu světla od terénu, který je roven 0,10 pro model zastínění II.1.A a 0,20 pro model zastínění II.1.Cb.

Z grafu na obr. 7.9.5 pro kritérium $F_{point, 0,7\%}$ je patrné, že **do hodnoty D_w zhruba 25 % se hodnota kritéria $F_{point, 0,7\%}$ zvyšuje u obou modelů zastínění s horizontální překážkou (modely zastínění II.1.Aa, II.1.Cb) výrazněji než u hodnocené vertikální překážky před oknem (modely zastínění I.2.Aa, I.2.Cb) a u čtvercového vnitrobloku (modely zastínění III.2.Aa, III.2.Cb). Od hodnoty D_w vyšší než 25 % však již kritérium $F_{point, 0,7\%}$ vykazuje u hodnocené horizontální překážky v modelech zastínění II.1.Aa a II.1.Cb pouze velmi pozvolný nárůst hodnot**, když jeho hodnota pro D_w v rozmezí 25 % až 40 % vzroste ze 48 % na zhruba 55 % až 60 %. Oproti tomu u vertikální překážky v modelu zastínění I.2.Aa se hodnota kritéria $F_{point, 0,7\%}$ zvýší v intervalu D_w mezi 25 % a 40 % přibližně z 19 % na 50 %. V závislosti na hodnotě D_w vykazují obdobný nárůst hodnot kritéria $F_{point, 0,7\%}$ jako model zastínění I.2.Aa také zbývající porovnávané modely zastínění pro vertikální překážku a vnitroblok. Od hodnoty D_w vyšší než cca 22 % jsou pro model zastínění II.1.Cb hodnoty kritéria $F_{point, 0,7\%}$ v jednotkách procentních bodů vyšší než u modelu zastínění II.1.Aa.

Podobný trend v závislosti na hodnotě D_w jako kritérium $F_{point, 0,7\%}$ má u modelů zastínění horizontální překážkou II.1.Aa a II.1.Cb také kritérium $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ pro místnost se severně i jižně orientovaným oknem (viz grafy na obr. 7.9.1 a obr. 7.9.2). U kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ je však u modelu zastínění II.1.Cb oproti modelu zastínění II.1.Aa výraznější vliv vyššího činitele odrazu světla od terénu, než tomu bylo u kritéria $F_{point, 0,7\%}$. Od hodnoty D_w zhruba 22 % jsou hodnoty kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ u severně i jižně orientované místnosti vyšší pro model zastínění II.1.Cb, a to přibližně do 5 p. b. u severně orientované místnosti a do 10 p. b. u jižně orientované místnosti.

Při shodné hodnotě D_w bylo u modelů zastínění II.1.Aa a II.1.Cb s horizontální překážkou dosaženo obvykle výrazně vyšších hodnot kritérií $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ve srovnání s modely zastínění pro vertikální překážku a vnitroblok. Oproti tomu hodnota kritéria $F_{point, 2,0 \%}$ zjištěná pro modely zastínění II.1.Aa, II.1.Cb s horizontální překážkou není při shodné hodnotě D_w pro porovnávané modely zastínění nejvyšší. Hodnota kritéria $F_{point, 2,0 \%}$ s rostoucí hodnotou činitele denní osvětlenosti D_w narůstá u modelů zastínění II.1.Aa, II.1.Cb s horizontální překážkou obdobně jako u zbývajících porovnávaných modelů zastínění (viz graf na obr. 7.9.6). Podobný průběh závislosti na hodnotě D_w jako kritérium $F_{point, 2,0 \%}$ má také kritérium $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ u severně orientované místnosti s tím rozdílem, že hodnoty kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ stanovené pro horizontální překážku II.1.Aa jsou od hodnoty D_w cirka 18 % v jednotkách procentních bodů vyšší než u vnitrobloku III.2.Aa (viz graf na obr. 7.9.3). U místnosti s oknem na jih stíněné horizontální překážkou II.1.Aa nebo II.1.Cb jsou hodnoty kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ od hodnoty D_w okolo 14 % vyšší než u ostatních porovnávaných modelů zastínění, přičemž oproti modelu zastínění III.2.Aa (vnitroblok) je dosaženo hodnot vyšších do 10 p. b. Hodnoty sledovaných kritérií určené pro modely zastínění II.1.Aa a II.1.Cb se v případě kritérií $F_{point, 2,0 \%}$ a $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ vzájemně liší v jednotkách procentních bodů při shodné hodnotě D_w .

7.9.4 Shrnutí k závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v prostoru na činitele denní osvětlenosti D_w

V rámci jednotlivých porovnávaných dvojic modelů zastínění (tj. I.2.Aa a I.2.Cb, II.1.Aa a II.1.Cb, III.2.Aa a III.2.Cb) se při shodných hodnotách činitele denní osvětlenosti D_w pro danou dvojici modelů zastínění pohybují rozdíly v hodnotách sledovaných kritérií obvykle do 10 p. b. Tyto rozdíly v hodnotách kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ lze pro jednotlivé porovnávané dvojice modelů zastínění považovat za malé z hlediska možnosti sestavení regresních modelů závislosti hodnot kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w .

7.10 REGRESNÍ MODELY ZÁVISLOSTI KRITÉRIÍ PRO HODNOCENÍ KVANTA DENNÍHO SVĚTLA V MÍSTNOSTI NA HODNOTĚ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI D_w

7.10.1 Sestavení regresních modelů závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w

Na základě zjištění předcházející kapitoly budou pro způsoby zastínění vybrané v kapitole 7.7 pro analýzu denního osvětlení uvnitř hodnocené místnosti sestaveny regresní modely závislosti sledovaných kritérií na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w . Popis regresních modelů je uveden v tab. 7.10.1.

Pro všechny analyzované způsoby zastínění byla v programu Microsoft Excel pro hodnocenou místnost vyjádřena závislost kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pomocí regrese polynomem 3. stupně. Rovnice regresí jsou uvedeny v grafech na obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6 společně s koeficientem determinace R^2 . Pro všechny regrese byl stanoven koeficient determinace R^2 vyšší než 0,98 a

tedy zvolené regrese vykazují vysokou míru spolehlivosti. V grafech na obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6 jsou regresní rovnice uvedeny s přesností na 5 desetinných míst. Při tomto počtu desetinných míst lze pomocí regresních rovnic stanovit hodnoty sledovaných kritérií pro činitel denní osvětlenosti D_w od 15 % do 40 % včetně. V grafech na obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6 je červenou svislou čarou vyznačena hodnota činitele denní osvětlenosti $D_w = 32 %$, pomocí které je lépe patrné, jakých hodnot v hodnocené místnosti dosahují sledovaná kritéria při splnění požadavku na přístup světla k průčelí budovy pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8].

Tab. 7.10.1: Popis regresních modelů pro vybrané způsoby zastínění (autor)

regresní model	kritérium závislé na hodnotě D_w	orientace okna místnosti	graf, rovnice regrese	popis
I.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 7.10.1	vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti (schéma dle obr. 7.1.1, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2), regresní modely sestaveny z dat pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Cb v příloze 12.6
I.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
I.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	-		
I.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 7.10.2	
I.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
I.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-		
II.1.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 7.10.3	horizontální překážka nad oknem hodnocené místnosti (schéma zastínění dle obr. 7.1.2, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2), regresní modely sestaveny z dat pro modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb v příloze 12.6
II.1.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
II.1.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	-		
II.1.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 7.10.4	
II.1.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
II.1.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-		
III.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 7.10.5	čtvercový vnitroblok výšky 20 m (schéma zastínění dle obr. 7.1.3, hodnocená místnost dle kapitoly 7.2), regresní modely sestaveny z dat pro modely zastínění III.2.Aa až III.2.Cb v příloze 12.6
III.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
III.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	-		
III.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 7.10.6	
III.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
III.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-		

7.10.2 Ověření použití regresních modelů

Ověření použití regresních modelů (viz grafy a rovnice na obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6) bylo provedeno pomocí porovnání hodnot kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ stanovených pro hodnocenou místnost pomocí regresních modelů a pomocí světelných simulací. V tab. 7.10.2 byly vyčísleny pomocí regresních rovnic uvedených na obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6 hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ pro sestavené regresní modely při hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 %$. Z porovnání hodnot v tab. 7.10.2 s hodnotami v tab. 7.8.5 je patrné, že hodnoty stanovené pomocí regresních modelů pro uvedené hodnoty D_w se od hodnot stanovených světelnými simulacemi liší o méně než 5 p. b.

V rozsahu hodnot D_w od 15 % do 40 % jsou na obr. 7.10.7 graficky porovnány hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ stanovené pro modely zastínění I.1.Aa až III.3.Cb simulacemi v programu Daysim (viz příloha 12.6) a sestavenými regresními modely

(viz příloha 12.7). Hodnoty kritérií stanovené světelnými simulacemi jsou hodnotami referenčními. V tab. 7.10.3 jsou uvedeny varianty zastínění, u kterých byl zjištěn maximální kladný a záporný rozdíl v hodnotách sledovaných kritérií stanovených regresními modely a světelnými simulacemi v rozsahu hodnot D_w od 15 % do 40 %. U těchto porovnávaných variant zastínění se rozdíly v hodnotách kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ stanovené pomocí regresních modelů a světelných simulací pohybují od -6,10 p. b. do 5,72 p. b. včetně modelů zastínění, které nebyly použity pro sestavení regresních modelů (tj. modely zastínění I.1 – vertikální překážka ve vzdálenosti 7 m od hodnocené místnosti, III.1 – čtvercový vnitroblok výšky 10 m, III.3 – čtvercový vnitroblok výšky 30 m).

Uvedenou shodu sestavených regresních modelů s daty stanovenými simulacemi denního osvětlení lze považovat za akceptovatelnou z hlediska předběžného stanovení kritérií pro určení kvanta denního osvětlení v zastíněném vnitřním prostoru.

Tab. 7.10.2: Stanovení kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ pro hodnotu činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32 \%$ pomocí regresních modelů (autor)

varianta zastínění	způsob stanovení hodnoty; $\Delta RM^{(1)}$ [p. b.]	D_w [%]	severní okno		jižní okno		$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	$\Delta RM^{(1)}$ [p. b.]
			$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]			
I.2.Aa $D_w \approx 32 \%$	světelná simulace	32,04	37,36	17,95	38,10	21,61	33,70	17,58	<-2,21; -0,38>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	32,04	36,98	17,16	36,61	19,40	32,02	15,84	
	ΔRM [p. b.]	-	-0,38	-0,79	-1,49	-2,21	-1,68	-1,74	
I.2.Cb $D_w \approx 32 \%$	světelná simulace	32,02	38,10	16,48	36,26	17,22	30,77	14,29	<-1,16; 2,15>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	32,02	36,94	17,14	36,56	19,37	31,98	15,82	
	ΔRM [p. b.]	-	-1,16	0,66	0,30	2,15	1,21	1,53	
II.1.Aa $D_w \approx 32 \%$	světelná simulace	31,87	65,93	23,81	78,02	30,77	54,21	18,32	<-1,01; 1,96>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	31,87	67,89	22,80	79,31	31,90	54,13	17,83	
	ΔRM [p. b.]	-	1,96	-1,01	1,29	1,13	-0,08	-0,49	
II.1.Cb $D_w \approx 32 \%$	světelná simulace	31,78	69,96	22,71	83,52	32,23	55,31	17,58	<-4,25; 0,15>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	31,78	67,85	22,70	79,27	31,81	54,07	17,73	
	ΔRM [p. b.]	-	-2,11	-0,01	-4,25	-0,42	-1,24	0,15	
III.2.Aa $D_w \approx 32 \%$	světelná simulace	32,43	47,25	20,88	50,55	26,74	42,86	20,88	<1,75; -0,39>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	32,43	45,86	20,49	48,80	25,39	41,49	20,24	
	ΔRM [p. b.]	-	-1,39	-0,39	-1,75	-1,35	-1,37	-0,64	
III.2.Cb $D_w \approx 32 \%$	světelná simulace	32,11	42,12	20,51	44,32	23,81	40,66	18,68	<-0,33; 3,72>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	32,11	45,24	20,18	48,04	25,01	41,00	19,98	
	ΔRM [p. b.]	-	3,12	-0,33	3,72	1,20	0,34	1,30	

Poznámka:

Popis regresních modelů (RM) uveden v tab. 7.10.1. Hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2.

Referenční hodnoty stanovené světelnou simulací dle tab. 7.8.5.

Vysvětlivka:

1) ΔRM [p. b.] – rozdíl hodnot stanovených regresními modely a světelnou simulací, přičemž data zjištěná světelnou simulací jsou referenčními hodnotami

$$\Delta RM = F_{point, k} - F_{point, ref}, \text{ kde } F_{point, ref} [\%] \text{ – referenční kritérium } F_{point}, F_{point, k} [\%] \text{ – porovnávané kritérium } F_{point}$$

Tab. 7.10.3: Stanovení kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ pro vybrané varianty zastínění pomocí regresních modelů a simulací denního osvětlení (autor)

varianta zastínění	způsob stanovení hodnoty; $\Delta RM^{1)}$ [p. b.]	D_w [%]	severní okno		jižní okno		$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	$\Delta RM^{1)}$ [p. b.]
			$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]			
I.1.Aa $\varepsilon = 20^\circ$	světelná simulace	34,70	46,15	21,61	49,82	26,74	40,66	20,88	<-6,10; -1,30>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	34,70	42,70	20,31	43,72	23,30	37,19	18,64	
	ΔRM [p. b.]	-	-3,45	-1,30	-6,10	-3,44	-3,47	-2,24	
I.1.Cb $\varepsilon = 20^\circ$	světelná simulace	39,87	52,75	25,64	56,04	30,04	45,79	22,34	<0,31; 4,09 >
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	39,87	54,89	25,95	60,13	30,76	47,43	23,51	
	ΔRM [p. b.]	-	2,14	0,31	4,09	0,72	1,64	1,17	
I.2.Bb $\varepsilon = 30^\circ$	světelná simulace	33,52	36,26	17,58	35,16	20,15	31,87	16,85	<0,56; 5,30 >
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	33,52	40,12	18,92	40,46	21,57	34,88	17,41	
	ΔRM [p. b.]	-	3,86	1,34	5,30	1,42	3,01	0,56	
I.2.Cb $\varepsilon = 50^\circ$	světelná simulace	22,51	24,91	4,03	22,71	4,03	19,78	4,03	<-5,46; 2,71>
	RM I.2.R.1 – I.2.R.6	22,51	19,45	6,31	17,38	6,74	15,21	6,00	
	ΔRM [p. b.]	-	-5,46	2,28	-5,33	2,71	-4,57	1,97	
II.1.Ab $\varepsilon = 71,57^\circ$	světelná simulace	15,14	41,76	0,00	50,92	2,56	26,74	0,00	<-1,11; 5,72 >
	RM II.1.R.1 – II.1.R.6	15,14	40,65	3,06	52,10	8,28	26,57	0,87	
	ΔRM [p. b.]	-	-1,11	3,06	1,18	5,72	-0,17	0,87	
II.1.Cb $\varepsilon = 36,87^\circ$	světelná simulace	37,44	74,36	27,47	85,35	35,53	59,34	21,98	<-4,86; 1,51>
	RM II.1.R.1 – II.1.R.6	37,44	69,50	28,15	81,69	36,83	56,80	23,49	
	ΔRM [p. b.]	-	-4,86	0,68	-3,66	1,30	-2,54	1,51	
III.1.Aa $WI = 0,750$	světelná simulace	19,94	25,64	8,79	27,11	12,45	23,44	11,36	<-4,28; -0,53>
	RM III.2.R.1 – III.2.R.6	19,94	23,01	8,26	22,83	10,19	21,58	8,95	
	ΔRM [p. b.]	-	-2,63	-0,53	-4,28	-2,26	-1,86	-2,41	
III.1.Cb $WI = 0,375$	světelná simulace	37,02	52,75	24,18	55,68	29,30	46,89	21,98	<0,42; 4,65 >
	RM III.2.R.1 – III.2.R.6	37,02	54,82	24,60	60,33	30,70	48,44	23,70	
	ΔRM [p. b.]	-	2,07	0,42	4,65	1,40	1,55	1,72	
III.2.Aa $WI = 0,125$	světelná simulace	39,25	61,17	26,37	71,79	35,16	52,75	25,64	<-5,42; 0,01>
	RM III.2.R.1 – III.2.R.6	39,25	59,27	26,38	66,37	33,05	51,63	25,11	
	ΔRM [p. b.]	-	-1,90	0,01	-5,42	-2,11	-1,12	-0,53	
III.2.Cb $WI = 0,500$	světelná simulace	30,85	40,29	19,05	40,66	21,61	37,00	17,22	<-0,08; 4,44 >
	RM III.2.R.1 – III.2.R.6	30,85	42,84	18,97	45,10	23,47	39,02	18,92	
	ΔRM [p. b.]	-	2,55	-0,08	4,44	1,86	2,02	1,70	
III.3.Ba $WI = 0,125$	světelná simulace	39,46	61,17	27,11	72,53	34,80	53,11	25,64	<-5,58; -0,40>
	RM III.2.R.1 – III.2.R.6	39,46	59,69	26,53	66,95	33,26	51,92	25,24	
	ΔRM [p. b.]	-	-1,48	-0,58	-5,58	-1,54	-1,19	-0,40	
III.3.Cb $WI = 0,500$	světelná simulace	30,17	37,36	17,22	38,10	20,88	36,26	16,85	<1,08; 5,45 >
	RM III.2.R.1 – III.2.R.6	30,17	41,55	18,30	43,55	22,63	37,95	18,33	
	ΔRM [p. b.]	-	4,19	1,08	5,45	1,75	1,69	1,48	

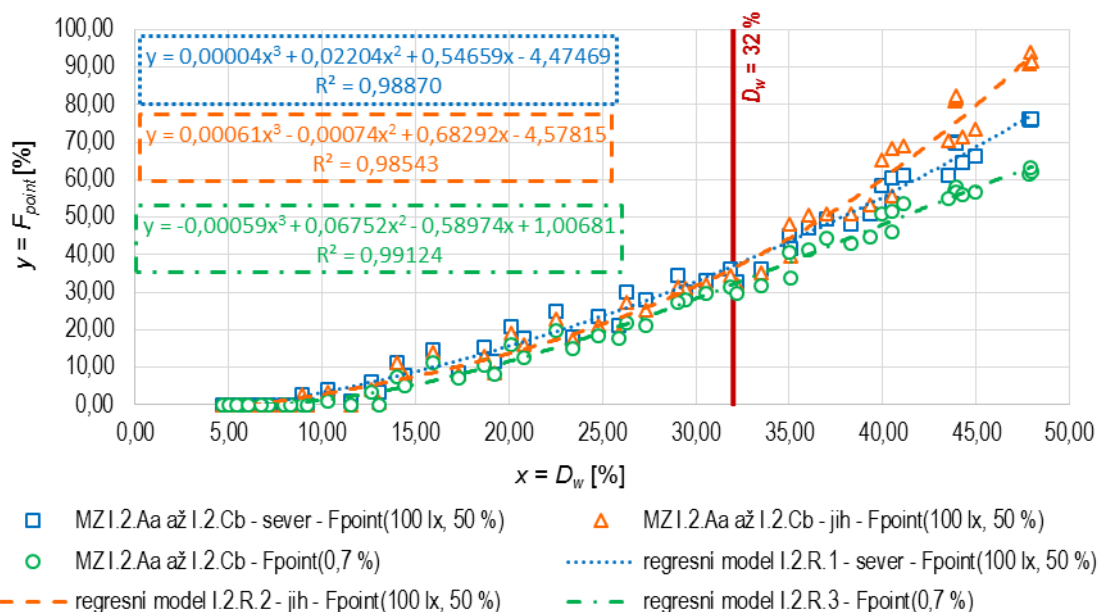
Poznámka:

Popis regresních modelů (RM) uveden v tab. 7.10.1. Hodnocená místnost uvažována dle kapitoly 7.2. Referenční hodnoty stanovené světelnou simulací dle přílohy 12.6, porovnávané hodnoty stanovené regresními modely dle přílohy 12.7.

Vysvětlivka:

1) ΔRM [p. b.] – rozdíl hodnot stanovených regresními modely a světelnou simulací, přičemž data zjištěná světelnou simulací jsou referenčními hodnotami

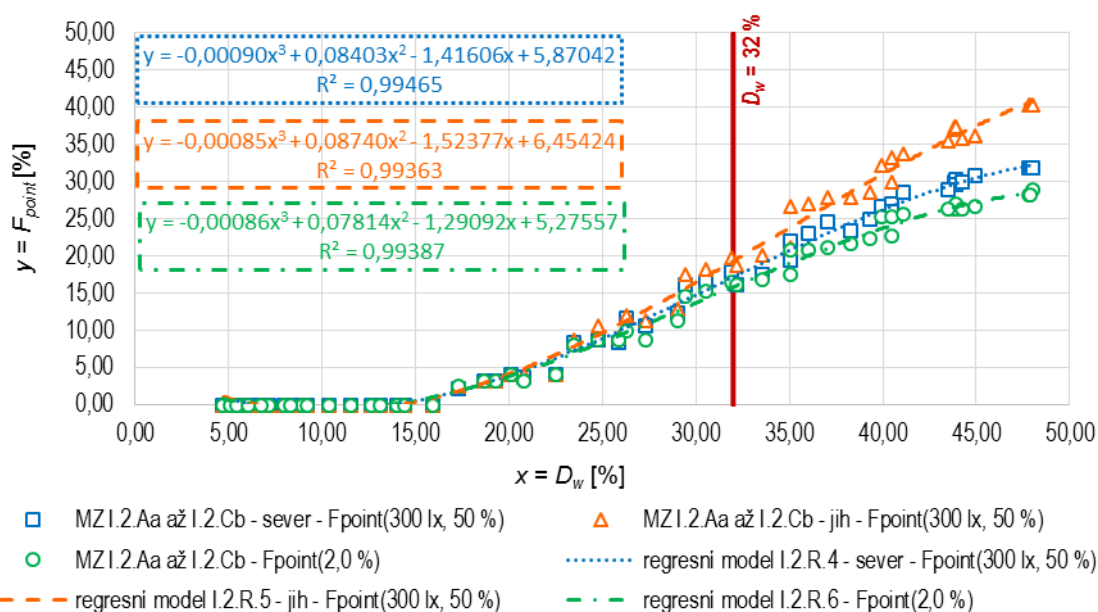
$$\Delta RM = F_{point, k} - F_{point, ref}, \text{ kde } F_{point, ref} [\%] - \text{referenční kritérium } F_{point}, F_{point, k} [\%] - \text{porovnávané kritérium } F_{point}$$



Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 7.1.4. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1.

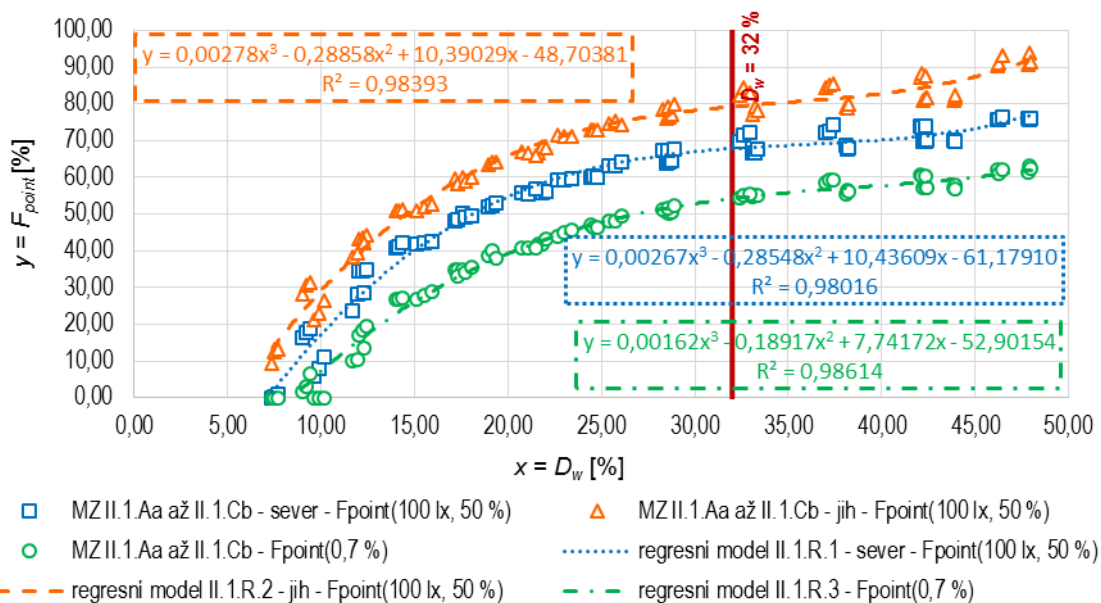
Obr. 7.10.1 Regresní modely I.2.R.1 až I.2.R.3 – závislost kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 0,7\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro vertikální překážku před oknem (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 7.1.4. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1.

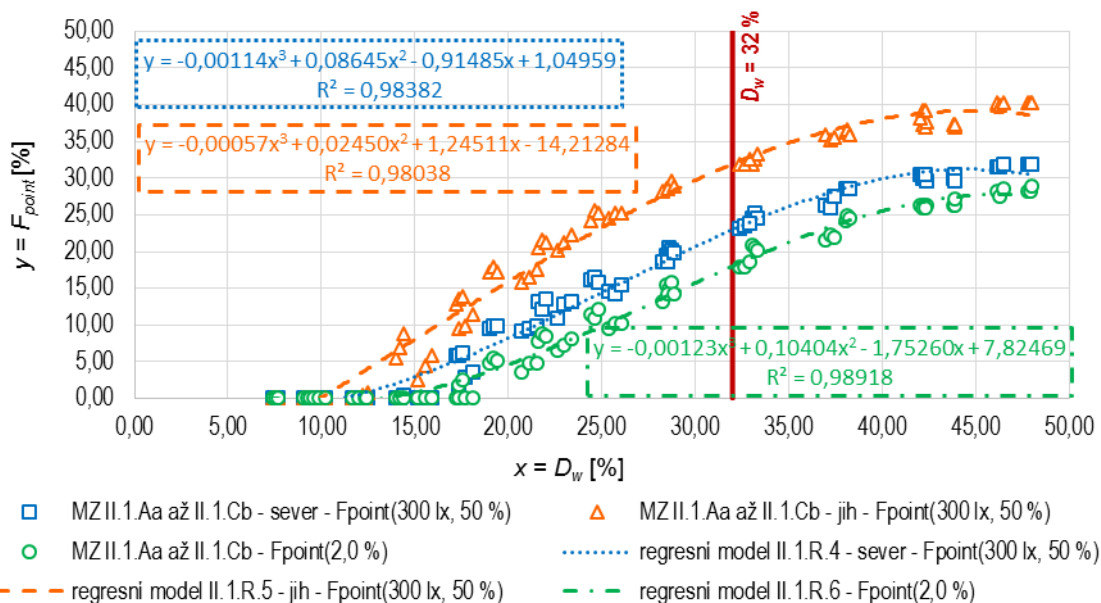
Obr. 7.10.2 Regresní modely I.2.R.4 až I.2.R.6 – závislost kritérií $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro vertikální překážku před oknem (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 7.1.4. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1.

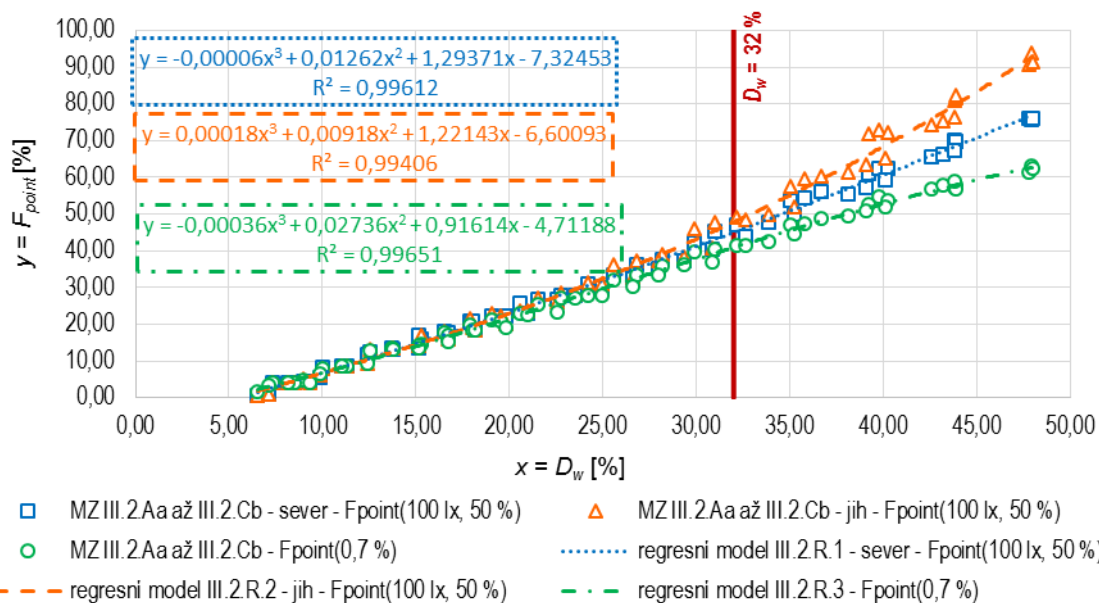
Obr. 7.10.3 Regresní modely II.1.R.1 až II.1.R.3 – závislost kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro horizontální překážku nad oknem (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 7.1.4. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1.

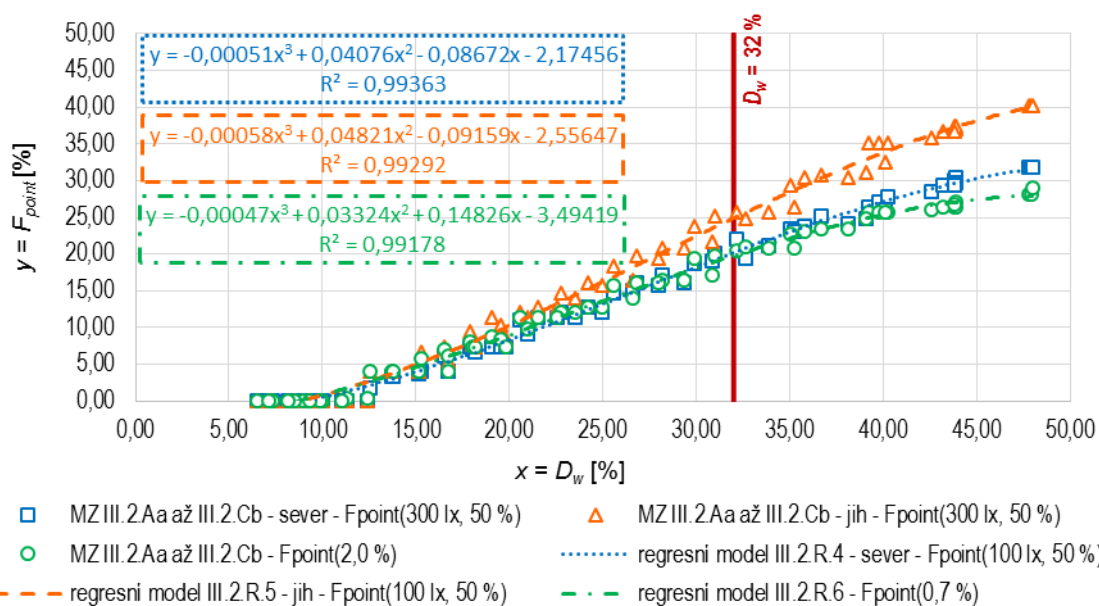
Obr. 7.10.4 Regresní modely II.1.R.4 až II.1.R.6 – závislost kritérií $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro horizontální překážku nad oknem (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 7.1.4. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1.

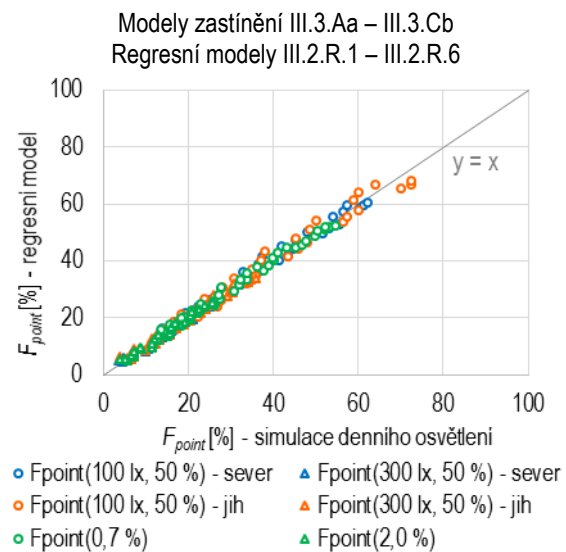
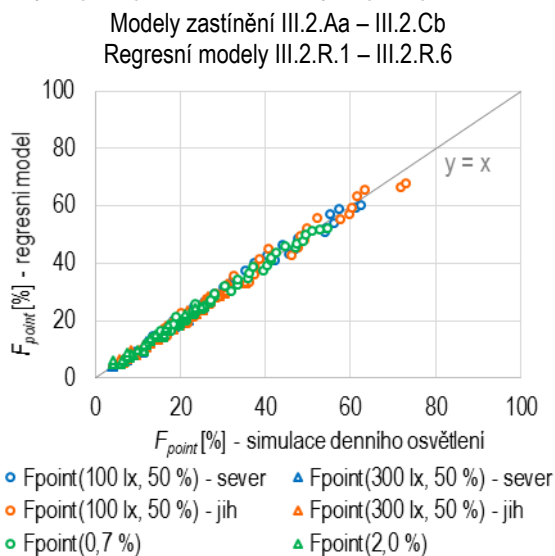
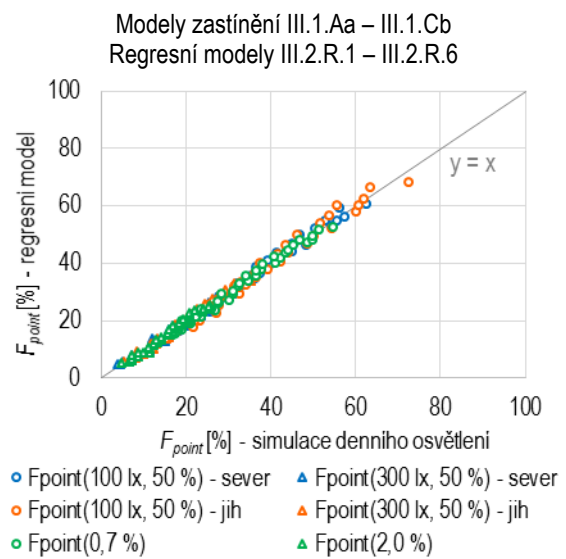
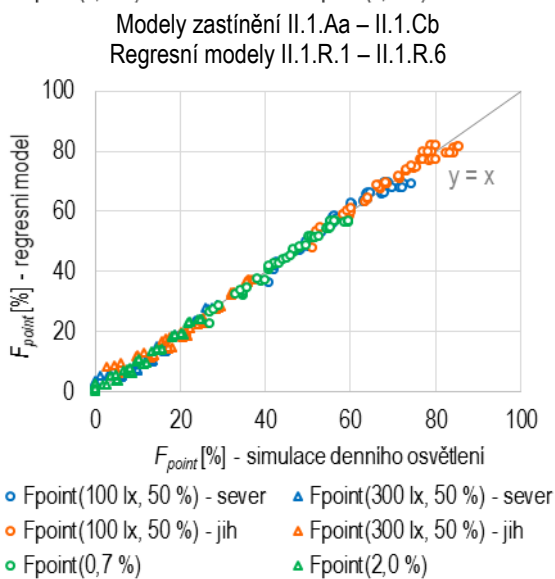
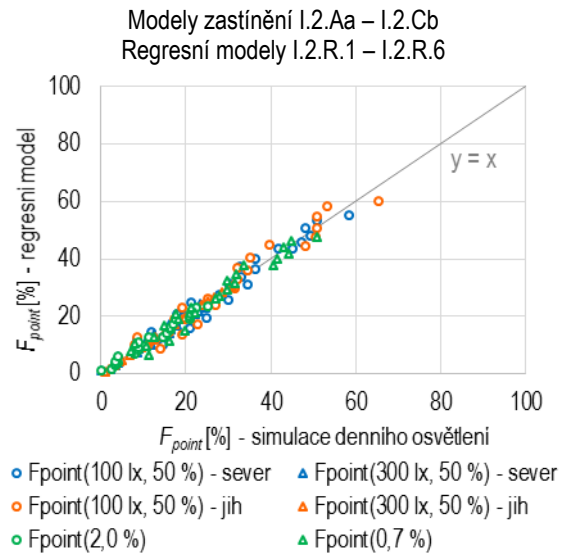
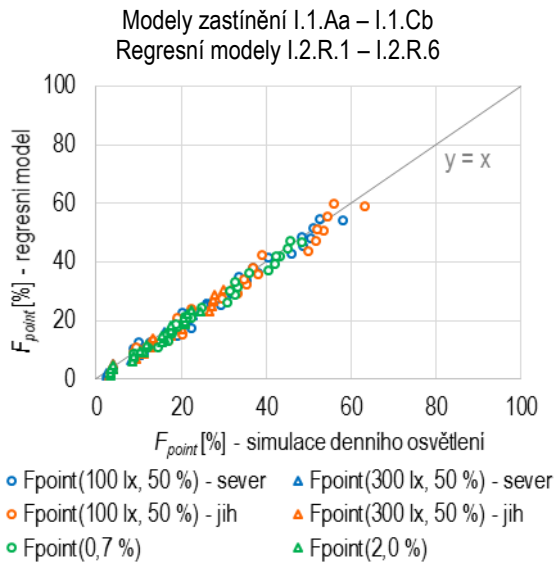
Obr. 7.10.5 Regresní modely III.2.R.1 až III.2.R.3 – závislost kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 7.1.4. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1.

Obr. 7.10.6 Regresní modely III.2.R.4 až III.2.R.6 – závislost kritérií $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro čtvercový vnitroblok (autor)



Poznámka: Označení modelů zastínění dle tab. 7.1.4. Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1. Referenční hodnoty stanovené světelnou simulací dle přílohy 12.6, porovnávané hodnoty stanovené regresními modely dle přílohy 12.7.

Obr. 7.10.7 Grafické porovnání hodnot kritérií $F_{point, 100 \text{ lx}, 50 \%}$, $F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ stanovených simulacemi v programu Daysim a navrženými regresními modely v rozsahu hodnot D_w od 15 % do 40 % (autor)

7.10.3 Shrnutí k regresním modelům závislosti kritérií pro hodnocení kvanta denního světla v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w

Pomocí dat ze světelných simulací v příloze 12.6 byly pro vybrané modely zastínění hodnocené místnosti sestaveny regresní modely závislosti kritérií $F_{point, 100 \text{ lx}, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w . Bylo ověřeno, že hodnoty sledovaných kritérií určené pomocí regresních modelů se od hodnot zjištěných světelnou simulací liší v jednotkách procentních bodů.

Sestavené regresní modely mohou sloužit jako pomůcka projektantům pro předběžné určení kvanta denního světla v prostoru zastíněné místnosti při přípravě projektu. Vždy je však nutné individuálně zohlednit, do jaké míry se navržená místnost svými rozměry, parametry oken, světelně technickými vlastnostmi a způsobem zastínění shoduje s místností a parametry zastínění použitými pro sestavení regresních modelů.

7.11 POROVNÁNÍ KVANTA DENNÍHO SVĚTLA V MÍSTNOSTI STANOVENÉHO POMOCÍ Činitele denní osvětlenosti a pomocí osvětlenosti

Příspěvek denního světla v prostoru se podle čl. 5.1.3 normy ČSN EN 17037 [24] hodnotí buď metodou s použitím činitele denní osvětlenosti, nebo metodou s použitím hladin osvětlenosti s klimatickými údaji pro dané místo a příslušný časový krok. Norma ČSN EN 17037 [24] zároveň stanovuje cílovou a minimální cílovou osvětlenost, která musí být dodržena ve stanovené části prostoru pro hodnocení alespoň po 50 % doby s denním světlem. Cílové a minimální cílové osvětlenosti jsou v příloze A normy ČSN EN 17037 [24] přiřazeny cílové a minimální cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti v závislosti na mediánu oblohové vodorovné osvětlenosti pro hlavní město členského státu CEN.

U analyzované místnosti bude za využití regresních modelů sestavených v kapitole 7.10.1 porovnáno, jak jsou pro jednotlivé způsoby zastínění vzájemně ekvivalentní hodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti pomocí cílového a minimálního cílového činitele denní osvětlenosti a pomocí cílové a minimální cílové osvětlenosti ve smyslu požadavků normy ČSN EN 17037 [24] pro Českou republiku. Při tomto vyhodnocení bude využito kritérií $F_{point, 100 \text{ lx}, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ definovaných v kapitole 7.3. Tato hodnotící kritéria byla pro hodnocenou místnost v závislosti na činiteli denní osvětlenosti D_w vyčíslena v tab. 7.11.1 a tab. 7.11.3 pomocí regresních funkcí uvedených na obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6. Rozsah hodnot D_w je uvažován od 15 % do 40 %.

7.11.1 Minimální cílová hodnota příspěvku denního světla v prostoru

Pro splnění **minimální cílové hodnoty příspěvku denního světla v prostoru** podle ČSN EN 17037 [24] je pro minimální doporučenou úroveň požadováno dosažení hodnoty 100 lx po 50 % doby s denním světlem. Uvedené minimální cílové hodnotě osvětlenosti pro Českou republiku odpovídá minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 % v případě svislých osvětlovacích otvorů. Minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti má být splněna v 95 % hodnocené plochy vnitřního prostoru. Pro hodnocenou místnost jsou v

tab. 7.11.1 uvedeny hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ a v tab. 7.11.2 jsou vyčísleny rozdíly v hodnotách těchto kritérií.

Tab. 7.11.1: Hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ stanovené regresními modely (autor)

regresní model	hodnotící kritérium	orientace okna	D_w [%]					
			15	20	25	30	35	40
I.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	8,82	15,59	23,59	32,84	43,37	55,21
I.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	jih	7,56	13,66	21,56	31,71	44,57	60,59
I.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	-	5,36	11,50	19,24	28,15	37,78	47,69
II.1.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	40,14	54,71	63,02	67,06	68,85	70,38
II.1.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	jih	51,60	65,91	74,13	78,34	80,64	83,10
II.1.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	-	26,13	39,22	47,72	52,84	55,78	57,78
III.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	14,72	23,12	31,97	41,22	50,84	60,78
III.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	jih	14,39	22,94	32,48	43,16	55,11	68,46
III.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	-	13,97	21,67	29,67	37,68	45,43	52,67

Poznámky:

- Hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$ jsou stanoveny pomocí regresních funkcí pro příslušné modely zastínění uvedené v grafech na obr. 7.10.1, obr. 7.10.3, obr. 7.10.5.
- Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Tab. 7.11.2: Porovnání hodnot kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ pro uvedené regresní modely (autor)

referenční regresní model		porovnávaný regresní model		ΔF_{point} [p. b.] ¹⁾					
označení	kritérium [%] ²⁾	označení	kritérium [%] ²⁾	D_w [%]					
				15	20	25	30	35	40
I.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$	I.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (S)	3,46	4,09	4,35	4,69	5,59	7,52
I.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$	I.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (J)	2,20	2,16	2,32	3,56	6,79	12,90
I.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (S)	I.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (J)	-1,26	-1,93	-2,03	-1,13	1,20	5,38
II.1.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$	II.1.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (S)	14,01	15,49	15,30	14,22	13,07	12,60
II.1.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$	II.1.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (J)	25,47	26,69	26,41	25,50	24,86	25,32
II.1.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (S)	II.1.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (J)	11,46	11,20	11,11	11,28	11,79	12,72
III.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$	III.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (S)	0,75	1,45	2,30	3,54	5,41	8,11
III.2.R.3	$F_{point, 0,7 \%}$	III.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (J)	0,42	1,27	2,81	5,48	9,68	15,79
III.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (S)	III.2.R.2	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ (J)	-0,33	-0,18	0,51	1,94	4,27	7,68

Vysvětlivky:

1) ΔF_{point} [p. b.] – rozdíl v hodnotách porovnávaného a referenčního kritéria F_{point} .
 $\Delta F_{point} = F_{point, k} - F_{point, ref}$, kde $F_{point, ref}$ [%] – referenční kritérium F_{point} , $F_{point, k}$ [%] – porovnávané kritérium F_{point}

2) S – sever, J – jih

Poznámka:
Hodnota ΔF_{point} [p. b.] stanovena dle dat v tab. 7.11.1. Označení regresních modelů dle tab. 7.10.1.
Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální hodnotu kritérií ΔF_{point} .

Pro vertikální překážku jsou hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ stanovena pomocí regresních modelů I.2.R.1 až I.2.R.3. Pro hodnoty D_w v rozsahu 15 % až 40 % se hodnota kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pohybuje od 8,82 % do 55,21 % u severně orientované místnosti a od 7,56 % do 60,59 % u jižně orientované místnosti. V rozmezí hodnot D_w 15 % až 30 % je vyšších hodnot kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ dosaženo pro severně orientovanou místnost. Při těchto hodnotách D_w je u hodnocené místnosti s oknem na jih redukováno přímé sluneční světlo zastíněním naproti stojící budovou. Zároveň se do místnosti s oknem na sever odráží přímé sluneční světlo dopadající na jižní fasádu naproti stojící budovy. Rozdíl v hodnotách kritéria

$F_{point, 100 lx, 50 \%}$, které byly stanoveny pro severně a jižně orientovanou místnost, činí maximálně 5,38 p. b. Pro kritérium $F_{point, 0,7 \%}$ vyhoví 5,36 % bodů při hodnotě $D_w = 15 \%$ a 47,69 % bodů při hodnotě $D_w = 40 \%$. **Porovnáním výsledků pro kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ lze u vertikální překážky konstatovat, že dle kritéria $F_{point, 0,7 \%}$ jsou stanoveny nižší hodnoty o 3,46 p. b. až 7,52 p. b. pro severně orientovanou místnost a o 2,20 p. b. až 12,90 p. b. pro jižně orientovanou místnost. Rozdíly v hodnotách kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ přitom rostou se zvyšující se hodnotou činitele denní osvětlenosti D_w . Vyšší shody výsledků stanovených pro vertikální překážku pomocí kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ je tedy dosaženo při větším zastínění hodnocené místnosti vertikální překážkou.**

U **horizontální překážky** jsou hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ vypočtena dle regresních modelů II.1.R.1 až II.1.R.3. Hodnoty kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ se pohybují od 40,14 % do 70,38 % u severně orientované místnosti a od 51,60 % do 83,10 % u jižně orientované místnosti pro hodnoty D_w v rozmezí 15 % až 40 %. V celém hodnoceném rozsahu D_w je přitom vyšších hodnot dosaženo pro jižně orientovanou místnost, přičemž hodnoty v jižně orientované místnosti jsou v porovnání se severně orientovanou místností vyšší o 11,11 p. b. až 12,72 p. b. Při vyhodnocení pomocí kritéria $F_{point, 0,7 \%}$ jsou pro hodnoty D_w v intervalu 15 % až 40 % splněny požadavky v 26,13 % až 57,78 % bodů. **V porovnání s kritériem $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ je tak hodnota kritéria $F_{point, 0,7 \%}$ nižší o 12,60 p. b. až 15,49 p. b. pro severně orientovanou místnost a o 24,86 p. b. až 26,69 p. b. pro jižně orientovanou místnost.**

Kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ jsou u **čtvercového vnitrobloku** stanovena pomocí regresních modelů III.2.R.1 až III.2.R.3. Pro tyto regresní modely bylo zjištěno, že pro hodnotu D_w od 15 % do 40 % jsou požadavky vyjádřené kritériem $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ splněny pro 14,72 % až 60,78 % kontrolních bodů v severně orientované místnosti a pro 14,39 % až 68,46 % bodů v jižně orientované místnosti. Pro činitel denní osvětlenosti D_w o hodnotě 15 % a 20 % přitom hodnota kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pro severně orientovanou místnost přesáhla v řádech desetin procentního bodu hodnoty stanovené pro jižně orientovanou místnost. Absolutní rozdíl v hodnotách kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pro severně a jižně orientovanou místnost se pohybuje mezi 0,18 p. b. až 7,68 p. b. Pro kritérium $F_{point, 0,7 \%}$ byly vyhovující hodnoty činitele denní osvětlenosti stanoveny v 13,97 % až 52,67 % hodnocených bodů při hodnotách D_w mezi 15 % a 40 %. **Hodnoty kritéria $F_{point, 0,7 \%}$ tak jsou oproti kritériu $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ pro severně orientovanou místnost nižší maximálně o 8,11 p. b. U jižně orientované místnosti byl pomocí kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ zjištěn o 0,42 p. b. až 15,79 p. b. vyšší procentuální podíl vyhovujících kontrolních bodů, než jsou hodnoty stanovené kritériem $F_{point, 0,7 \%}$. U severně i jižně orientované místnosti rozdíly v hodnotách zjištěných kritérií $F_{point, 0,7 \%}$ a $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ rostou se zvyšující se hodnotou D_w .**

7.11.2 Cílová hodnota příspěvku denního světla v prostoru

Kromě minimální cílové hodnoty příspěvku denního světla v prostoru se dle ČSN EN 17037 [24] hodnotí také splnění **cílové hodnoty příspěvku denního světla v prostoru**. Pro hodnocení pomocí hladin osvětleností je stanovena pro minimální doporučenou úroveň cílová hodnota 300 lx po 50 % doby s denním světlem. Této cílové hodnotě pro Českou republiku odpovídá hodnota činitele denní osvětlenosti 2,0 % při zajištění denního osvětlení místnosti svislými okny. Cílové hodnoty příspěvku denního světla má být

dosaženo v 50 % hodnocené plochy vnitřního prostoru. Pro hodnocenou místnost jsou v tab. 7.11.3 uvedeny hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 0,7 \%}$ a v tab. 7.11.4 jsou vyčísleny rozdíly v hodnotách těchto kritérií.

Tab. 7.11.3: Hodnoty kritérií $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ pro regresní modely vybraných způsobů zastínění (autor)

regresní model	hodnotící kritérium	orientace okna	D_w [%]					
			15	20	25	30	35	40
I.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	sever	0,50	3,96	8,93	14,72	20,66	26,08
I.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih	0,39	4,14	9,70	16,45	23,74	30,94
I.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-	0,59	3,83	8,40	13,65	18,94	23,62
II.1.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	sever	2,93	8,21	14,40	20,63	26,05	29,82
II.1.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih	8,05	15,93	23,32	29,80	34,94	38,31
II.1.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-	0,79	4,55	9,82	15,67	21,20	25,46
III.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	sever	3,97	8,32	13,16	18,14	22,85	26,93
III.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih	4,96	10,26	16,22	22,42	28,43	33,80
III.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-	4,62	9,01	13,64	18,18	22,26	25,54

Poznámky:

- Hodnoty kritérií $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ jsou stanoveny pomocí regresních funkcí pro příslušné modely zastínění uvedené v grafech na obr. 7.10.1, obr. 7.10.3, obr. 7.10.5.
- Popis regresních modelů uveden v tab. 7.10.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Tab. 7.11.4: Porovnání hodnot kritérií $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ pro uvedené regresní modely (autor)

referenční regresní model		porovnávaný regresní model		ΔF_{point} [p. b.] ¹⁾					
				D_w [%]					
označení	kritérium [%] ²⁾	označení	kritérium [%] ²⁾	15	20	25	30	35	40
I.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$	I.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (S)	-0,09	0,13	0,53	1,07	1,72	2,46
I.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$	I.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (J)	-0,20	0,31	1,30	2,80	4,80	7,32
I.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (S)	I.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (J)	-0,11	0,18	0,77	1,73	3,08	4,86
II.1.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$	II.1.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (S)	2,14	3,66	4,58	4,96	4,85	4,36
II.1.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$	II.1.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (J)	7,26	11,38	13,50	14,13	13,74	12,85
II.1.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (S)	II.1.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (J)	5,12	7,72	8,92	9,17	8,89	8,49
III.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$	III.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (S)	-0,65	-0,69	-0,48	-0,04	0,59	1,39
III.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$	III.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (J)	0,34	1,25	2,58	4,24	6,17	8,26
III.2.R.4	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (S)	III.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ (J)	0,99	1,94	3,06	4,28	5,58	6,87

Vysvětlivky:

1) ΔF_{point} [p. b.] – rozdíl v hodnotách porovnávaného a referenčního kritéria F_{point} .
 $\Delta F_{point} = F_{point, k} - F_{point, ref}$, kde $F_{point, ref}$ [%] – referenční kritérium F_{point} , $F_{point, k}$ [%] – porovnávané kritérium F_{point}

2) S – sever, J - jih

Poznámka:
Hodnota ΔF_{point} [p. b.] stanovena dle dat v Tab. 7.11.3. Označení regresních modelů dle tab. 7.10.1.
Červeně / modře vyznačená čísla značí maximální / minimální hodnotu kritérií ΔF_{point} .

Pro hodnocenou vertikální překážku byly v závislosti na hodnotě D_w kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ stanovena pomocí regresních modelů I.2.R.4 až I.2.R.6. Pro kritérium $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ je u vertikální překážky před oknem hodnocené místnosti dosaženo pro hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w v rozsahu 15 % až 40 % hodnot 0,50 % až 26,08 % u severního okna a 0,39 % až 30,94 % u jižního okna. Činitele denní osvětlenosti alespoň 2,0 % bylo dosaženo v 0,59 % až 23,62 % kontrolních bodů (kritérium $F_{point, 2,0 \%}$). Při hodnotě $D_w = 15$ % je hodnota kritéria $F_{point, 2,0 \%}$ mírně vyšší než hodnota kritéria $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ u severně i jižně orientované

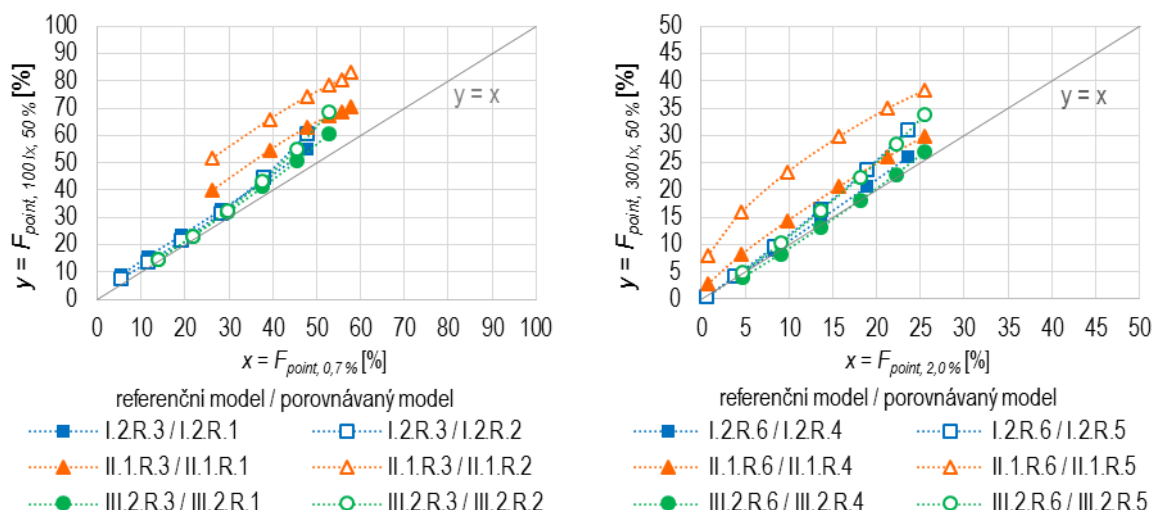
místnosti. Zároveň bylo pro hodnotu $D_w = 15\%$ u kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ u severně orientované místnosti dosaženo o 0,11 p. b. vyšší hodnoty než u jižně orientované místnosti. Pro hodnoty D_w od 20 % do 40 % jsou hodnoty kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ u jižně orientované místnosti maximálně o 4,86 p. b. vyšší než u severně orientované místnosti. Oproti kritériu $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ jsou hodnoty kritéria $F_{point, 2,0\%}$ pro hodnoty D_w v rozsahu 20 % až 40 % nižší až o 2,46 p. b. u severně orientované místnosti a až o 7,32 p. b. u jižně orientované místnosti. **U vertikální překážky tak při shodné hodnotě D_w kritérium $F_{point, 2,0\%}$ oproti kritériu $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ nabylo maximálně o 0,20 p. b. vyšší hodnoty a maximálně o 7,32 p. b. nižší hodnoty.**

U **horizontální překážky** nad oknem jsou kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ stanovena regresními modely II.1.R.4 až II.1.R.6. Pro tyto regresní modely je u horizontální překážky nad oknem hodnota kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ 2,93 % až 29,82 % v severně orientované místnosti a 8,05 % až 38,31 % v jižně orientované místnosti při rozsahu hodnot D_w v rozmezí 15 % až 40 %. Pro všechny hodnoty D_w byly zjištěny vyšší hodnoty kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ u jižně orientované místnosti, a to v rozsahu 5,12 p. b. až 9,17 p. b. oproti severně orientované místnosti. Kritérium $F_{point, 2,0\%}$ nabývá pro posuzované hodnoty D_w hodnot v rozmezí 0,79 % až 25,46 %. **Pomocí kritéria $F_{point, 2,0\%}$ tak byly oproti kritériu $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ stanoveny u horizontální překážky hodnoty nižší o 2,14 p. b. až 4,96 p. b. pro severně orientovanou místnost a o 7,26 p. b. až 14,13 p. b. pro jižně orientovanou místnost.**

Pro hodnocení **čtvercový vnitroblok** byla kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ vypočtena pomocí regresních modelů III.2.R.4 až III.2.R.6. Dle těchto regresních modelů je vyhovujících hodnot ve smyslu kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ dosaženo v 3,97 % až 26,93 % kontrolních bodů v severně orientované místnosti a v 4,96 % až 33,80 % kontrolních bodů v jižně orientované místnosti pro hodnoty D_w v rozsahu 15 % až 40 %. V uvedeném rozsahu hodnot D_w jsou hodnoty kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ vyšší u jižně orientované místnosti, ve které jsou hodnoty sledovaného kritéria vyšší o 0,99 p. b. až 6,87 p. b. než u severně orientované místnosti. Hodnota činitele denní osvětlenosti alespoň 2,0 % (tj. kritérium $F_{point, 2,0\%}$) byla zjištěna pro 4,62 % až 25,54 % kontrolních bodů při hodnotách D_w v rozmezí 15 % až 40 %. Pro místnost s oknem na sever jsou hodnoty kritéria $F_{point, 2,0\%}$ oproti kritériu $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ vyšší o 0,04 p. b. až 0,69 p. b. pro hodnoty D_w od 15 % do 30 % a nižší o 0,59 p. b. až 1,39 p. b. pro hodnoty D_w 35 % a 40 %. Pro jižně orientovanou místnost dosáhlo kritérium $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ o 0,34 p. b. až 8,26 p. b. vyšších hodnot než kritérium $F_{point, 2,0\%}$ při hodnotách D_w v rozmezí 15 % až 40 %. **Pro čtvercový vnitroblok tedy hodnota kritéria $F_{point, 2,0\%}$ oproti kritériu $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ dosáhla maximálně o 0,69 p. b. vyšší hodnoty a o 8,26 p. b. nižší hodnoty.**

7.11.3 Shrnutí k porovnání kvanta denního světla v místnosti stanoveného pomocí činitele denní osvětlenosti a pomocí osvětleností

Hodnoty kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ i $F_{point, 2,0\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ stanovené pomocí regresních modelů pomocí hodnot D_w v rozsahu 15 % až 40 % jsou zrekapitulovány v grafech na obr. 7.11.1. V těchto grafech jsou vyneseny na ose x hodnoty kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ a na ose y hodnoty kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$. Zároveň je v grafech vynesena přímka $y = x$, přičemž čím blíže jsou jednotlivé vnesené body této přímce, tím více procentuální podíl vyhovujících bodů stanovený pomocí osvětleností odpovídá procentuálnímu podílu vyhovujících bodů stanovenému pomocí činitele denní osvětlenosti.



Poznámka:

- Regresní modely I.2.R.1 až III.2.R.6 dle tab. 7.10.1 a obr. 7.10.1 až obr. 7.10.6.
- Hodnoty kritérií $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 2,0\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ dle tab. tab. 7.11.1 a tab. 7.11.3

Obr. 7.11.1 Grafické porovnání ekvivalentnosti hodnot kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ stanovených regresními modely v rozsahu hodnot D_w od 15 % do 40 % (autor)

Pro všechny analyzované způsoby zastínění jsou dle sestavených regresních modelů pro severně a jižně orientovanou místnost hodnoty kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ vyšší než hodnoty kritéria $F_{point, 0,7\%}$. U hodnocené vertikální překážky a vnitrobloku absolutní rozdíl hodnot kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ nepřekračuje u severně i jižně orientované místnosti 10 p. b. pro hodnoty D_w od 15 % do 35 % včetně. Při hodnotě $D_w = 40\%$ je u vnitrobloku a vertikální překážky rozdíl hodnot kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ u severně orientované místnosti do 10 p. b. U jižně orientované místnosti při činiteli denní osvětlenosti $D_w = 40\%$ je kritérium $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ v porovnání s kritériem $F_{point, 0,7\%}$ vyšší o 12,90 p. b. u vertikální překážky a o 15,79 p. b. u vnitrobloku. U horizontální překážky v analyzovaném rozsahu hodnot D_w kritérium $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ nabývá oproti kritériu $F_{point, 0,7\%}$ vyšších hodnot o 12,60 p. b. až 14,01 p. b. u severně orientované místnosti a o 24,86 p. b. – 26,69 p. b. u jižně orientované místnosti.

Hodnoty kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ jsou v setinách a desetínách procentního bodu nižší než hodnoty kritéria $F_{point, 2,0\%}$ pro několik analyzovaných hodnot činitele denní osvětlenosti D_w u severně a jižně orientované místnosti stíněné vertikální překážkou a u severně orientované místnosti ve vnitrobloku. V případě kritérií $F_{point, 2,0\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ jsou u severně orientované místnosti absolutní rozdíly v hodnotách těchto kritérií menší než 5 p. b. pro všechny posuzované způsoby zastínění. U jižně orientované místnosti se absolutní rozdíly v hodnotách kritérií $F_{point, 2,0\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ pohybují od 0,20 p. b. do 7,32 p. b. u vertikální překážky, od 0,34 p. b. do 8,26 p. b. u vnitrobloku a od 7,26 p. b. do 14,13 p. b. u horizontální překážky.

U kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ i $F_{point, 2,0\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ jsou pomocí regresních modelů pro shodnou hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w nejvyšší rozdíly v hodnotách porovnávaných kritérií stanoveny vždy u horizontální překážky nad oknem místnosti při orientaci okna na sever i na jih. Hodnota kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ byla v provedené analýze

vyšší maximálně o 26,69 p. b. oproti kritériu $F_{point, 0,7\%}$, a to u jižně orientované místnosti stíněné horizontální překážkou při činiteli denní osvětlenosti D_w o hodnotě 20 %. Hodnota kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ byla ve srovnání s kritériem $F_{point, 2,0\%}$ vyšší maximálně o 14,13 p. b., přičemž tento rozdíl nastal u jižně orientované místnosti stíněné horizontální překážkou při $D_w = 30\%$. K hodnoceným místnostem s oknem na jih je však nutno dodat, že místnost v této analýze není vybavena stínícími prostředky. Je-li část osvětlenosti v kontrolních bodech tvořena přímým slunečním zářením, bylo by nutné z důvodu zajištění zrakové a tepelné pohody v místnosti přímé sluneční záření regulovat stínícími prostředky, což by u takové místnosti vedlo ke snížení hodnot kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ i $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$.

Pro 53 ze 72 (tj. 73,6 %) analyzovaných porovnání hodnot kritérií $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 2,0\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ byl stanoven absolutní rozdíl v hodnotách vzájemně ekvivalentních kritérií do 10 procentních bodů. **V podmínkách České republiky se tedy cílová a minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti stanovené v ČSN EN 17037 [24] jeví pro většinu analyzovaných zastíňovacích situací ekvivalentní cílové a minimální cílové osvětlenosti.** Avšak v rámci analyzovaných situací byl u horizontální překážky nad jižně orientovaným oknem pomocí denních osvětleností stanoven až o 26,69 p. b. vyšší podíl vyhovujících kontrolních bodů než při hodnocení pomocí činitele denní osvětlenosti.

7.12 SHRNUÍ ANALÝZY DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

V rámci analýzy denního osvětlení zastíněných budov jsou pro vertikální překážku před oknem, horizontální překážku nad oknem a vnitrobloky čtvercového půdorysu:

- sestaveny diagramy a regresní modely závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε nebo indexu atria WI – kapitola 7.6;
- provedena vyčíslení relativních změn hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w v důsledku změny činitele odrazu světla od terénu nebo od překážek – kapitola 7.6;
- analyzovány difference v hodnotách kritérií popisujících kvantum denního světla v interiéru $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ při hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32\%$ (tj. minimální požadovaná hodnota pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle tabulky B.1 v normě ČSN 73 0580-1[8]) – kapitola 7.8;
- porovnány závislosti kritérií popisujících kvantum denního světla v interiéru $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – kapitola 7.9;
- sestaveny regresní modely závislosti kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ popisujících kvantum denního světla v interiéru hodnocené místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – kapitola 7.10.

Na rozdíl od diagramu závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění na obrázku B.2 v normě ČSN 73 0580-1 [8] byly v dizertační práci sestaveny diagramy pro více typů překážek (vertikální překážka před oknem, horizontální překážka nad oknem, čtvercový vnitroblok) a místo v praxi obtížně zjistitelné hodnoty činitele jasu jsou světelně technické vlastnosti venkovních povrchů definovány pomocí činitele odrazu světla od terénu a venkovních objektů.

Pomocí sestavených diagramů a regresních modelů závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε nebo indexu WI lze zejména v rámci přípravné fáze projektu orientačně stanovit vliv navržené stavby na přístup světla k průčelí okolních budov.

Z hlediska denního osvětlení uvnitř místnosti lze shrnout, že **činitel denní osvětlenosti D_w má pro identickou hodnocenou místnost stíněnou různými překážkami odlišnou vypovídající hodnotu v důsledku rozdílného umístění stínící překážky a rozdílných hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů.**

Bylo ověřeno, že pro jednotlivé typy stínících překážek je možné sestavit **regresní modely závislosti kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ hodnotících kvantum denního světla v interiéru hodnocené místnosti na činiteli denní osvětlenosti D_w .** Tyto regresní modely lze využít pro orientační stanovení kvanta denního světla v místnosti zejména v rámci přípravné fáze projektu. Při práci s těmito regresními modely je však nutné zohlednit parametry místnosti (viz kapitola 7.2), která byla pro sestavení regresních modelů použita. Hodnocená místnosti byla v dizertační práci definována tak, aby místnost svými parametry mohla představovat kancelář i obytnou místnost obvyklou v podmínkách České republiky a aby zároveň rozměry místnosti byly dostatečné pro analyzování vlivu různých typů stínících překážek na denní osvětlení v místnosti. Zejména u místností s okny na jih, ve kterých může být denní osvětlení zajištěno i přímým slunečním světlem, je také nutné zvážit, po jakou část doby s denním světlem by bylo nutné přímé sluneční záření regulovat stínícími prostředky pro zajištění zrakové a tepelné pohody v místnosti. **Stínící prostředky však u hodnocené místnosti nejsou uvažovány a v tomto ohledu je možné na dizertační práci navázat.**

V kapitole 7.11 také byla vyhodnocena vzájemná ekvivalentnost kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$. Pomocí sestavených regresních modelů bylo zjištěno, že **podíl kontrolních bodů v hodnocené místnosti, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti (tj. kritéria $F_{point, 2,0\%}$ a $F_{point, 0,7\%}$), je při shodné hodnotě D_w pro většinu hodnocených variant zastínění menší než podíl kontrolních bodů $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota osvětlenosti.** Hodnota kritéria $F_{point, 0,7\%}$ byla u všech hodnocených variant zastínění **menší než hodnota kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$.** Pokud kritérium $F_{point, 2,0\%}$ bylo při shodné hodnotě D_w vyšší než kritérium $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, jednalo se dle sestavených regresních modelů o rozdíly **menší než jeden procentní bod.** Na základě sestavených regresních modelů dle simulací v programu Daysim s využitím klimatických dat pro Prahu se **cílová a minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti stanovené pro Českou republiku v normě ČSN EN 17037 [24] jeví pro většinu analyzovaných zastíňovacích situací ekvivalentní cílové a minimální cílové osvětlenosti.**

8 NÁVRHY ÚPRAVY HODNOCENÍ PŘÍSTUPU SVĚTLA K PRŮČELÍ BUDOVY

8.1 FORMULACE NÁVRHŮ

Přístup světla k průčelí budovy se podle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] hodnotí pomocí činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany. Z provedených měření i výpočtů vyplynulo, že **reflektance vnějších povrchů může výrazně ovlivnit hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w z hlediska vyhodnocení splnění požadavků přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8].**

Hodnotící kritéria stanovená normami by měla být maximálně objektivní a transparentní. Způsob stanovení hodnotících kritérií by přitom měl být definován jednoznačně, aby vznikal minimální prostor pro ovlivnění výsledků zpracovatelem posouzení. Hodnoty vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti D_w jsou však mnohdy stanovovány pouze na základě subjektivního odhadu zpracovatele posouzení. Hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w stanovené dvěma různými zpracovateli se často liší zejména v důsledku použití jiných hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů. Tyto odlišnosti v hodnotách činitele denní osvětlenosti v některých případech vedou i k jinému závěrečnému vyhodnocení z hlediska splnění či nesplnění požadavků přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8]. Následující návrhy pro úpravu hodnocení přístupu světla k průčelí budovy by měly přispět k větší objektivitě světelně technických posouzení přístupu světla k průčelí budovy.

Návrh 1: Stanovení jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od terénu a jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od venkovních překážek, pro které se má provádět hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí činitele denní osvětlenosti D_w

Norma ČSN 73 0580-1 [8] v čl. B.3 uvádí, že výpočet činitele denní osvětlenosti D_w je možné provést pomocí metody, která definuje světelně technické vlastnosti venkovních povrchů pomocí činitele jasu k_y , k_m nebo pomocí **činitele odrazu světla**. V normě ČSN 73 0580-1 [8] je v čl. A.12 a B.3 uvedena jedna konkrétní hodnota činitele jasu, pro kterou se má realizovat hodnocení denního osvětlení. **Norma ČSN 73 0580-1 [8] však neuvádí jednu konkrétní hodnotu činitele odrazu světla od venkovních překážek, pro kterou by měl být proveden výpočet činitele denní osvětlenosti D_w .**

Hodnotu činitele jasu je možné použít při stanovení činitele denní osvětlenosti D_w například podle Waldramova diagramu. Denní osvětlení budov se dnes však převážně hodnotí pomocí světelných simulací v počítačových programech. V České republice je definování světelně technických parametrů vnějších povrchů pomocí činitele jasu používáno v programu Světlo+. **Většina světelně technických programů, které mají v době zpracování dizertační práce dostupnou softwarovou podporu a jsou průběžně aktualizovány (např. BuildingDesign – moduly Wdls 5 a ČSN EN 17037, Daysim, DIALux, ReluxDesktop, Radiance, Velux Daylight Visualizer), však pro definování světelně technických parametrů používá činitel odrazu světla a činitel jasu tyto programy nepodporují.** Použití hodnoty činitele odrazu světla

namísto hodnoty činitele jasu je přitom v těchto programech dáno použitými výpočtovými metodami, které jsou založeny na ray-tracingu, radiosity nebo fotonových mapách.

V normě ČSN EN 17037 [24] je v čl. B.3.1 stanoven činitel odrazu světla od venkovních stěn 0,2 až 0,4 a je možné zdůvodnit i použití vyšší hodnoty. Činitel odrazu světla od terénu se má dle čl. A.20 normy ČSN 73 0580-1 [8] uvažovat hodnotou 0,1. Norma ČSN EN 17037 [24] však v čl. B.3.1 uvádí, že činitel odrazu světla od terénu se obvykle volí hodnotou 0,2.

Platné normy tedy jednoznačně nestanovují, pro jaké hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních povrchů, má být hodnota činitele denní osvětlenosti D_w určena. **Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w je proto obvykle stanovována na základě hodnot činitele odrazu světla od vnějších povrchů, které jsou subjektivně odhadnuté zpracovatelem posouzení. V průběhu životnosti budovy navíc může docházet ke změně činitelů odrazu světla od venkovních povrchů. V současnosti není obvyklé, aby například změna barevného řešení fasády byla dokládána výpočtem vlivu této změny na přístup světla k průčelí okolních budov.**

Z výše uvedených důvodů se tedy jeví vhodné výpočty činitele denní osvětlenosti za použití hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů **sjednotit** stanovením jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od terénu a jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od ostatních venkovních objektů.

Návrh 2: Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí činitele denní osvětlenosti D_w pouze metodou, ve které je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti stanovena pomocí činitele jasu překážky a terénu

Platnými normami není jednoznačně určena hodnota činitele odrazu světla od terénu a venkovních překážek, pro které by měl být proveden výpočet činitele denní osvětlenosti D_w . Norma ČSN 73 0580-1 [8] ale obsahuje v příloze B diagram na obrázku B.2 a tabulku B.1, ve kterých jsou stanoveny úhly stínění souběžnou překážkou za předpokladu činitele jasu překážky i terénu $k_y = 0,10$. Zamezit nejednoznačnému (subjektivnímu) stanovování vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti by tedy bylo možné pomocí omezení výpočetních metod pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w pouze na ty, ve kterých je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti stanovena na základě činitele jasu překážky a terénu. Zároveň by v takovém případě ze shora popsaných důvodů u návrhu 1 mělo být také striktně předepsáno použití jedné konkrétní hodnoty činitele jasu překážky a terénu. Výpočet činitele denní osvětlenosti D_w by tak bylo možné provádět pomocí graficko-početních výpočtových metod (např. Waldramův diagram). Obdobný přístup byl zvolen také na Slovensku, kde se ekvivalentní úhel stínění stanovuje pomocí dvou diagramů obsažených v normě STN 73 0580-2 [32].

Návrh 3: Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pouze pomocí oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s}$

Při stanovení přístupu světla k průčelí budovy je zpravidla jednoznačně dána geometrie hodnocené situace. Světelně technické vlastnosti venkovních povrchů jsou v čase proměnné. Za zcela jednoznačné hodnotící kritérium přístupu světla k průčelí budovy lze tedy považovat **oblohovou složku činitele denní osvětlenosti $D_{w,s}$ [%], která je jednoznačně dána geometrií**

hodnocené situace. Na rozdíl od činitele denní osvětlenosti D_w neovlivňují velikost oblohové složky činitele denní osvětlenosti světelně technické vlastnosti venkovních povrchů (tj. činitel odrazu světla nebo činitel jasu překážky a terénu). Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy je založeno na oblohové složce činitele denní osvětlenosti v britské normě BS 8206-2 [3] a ve slovenské normě STN 73 0580-1 [32].

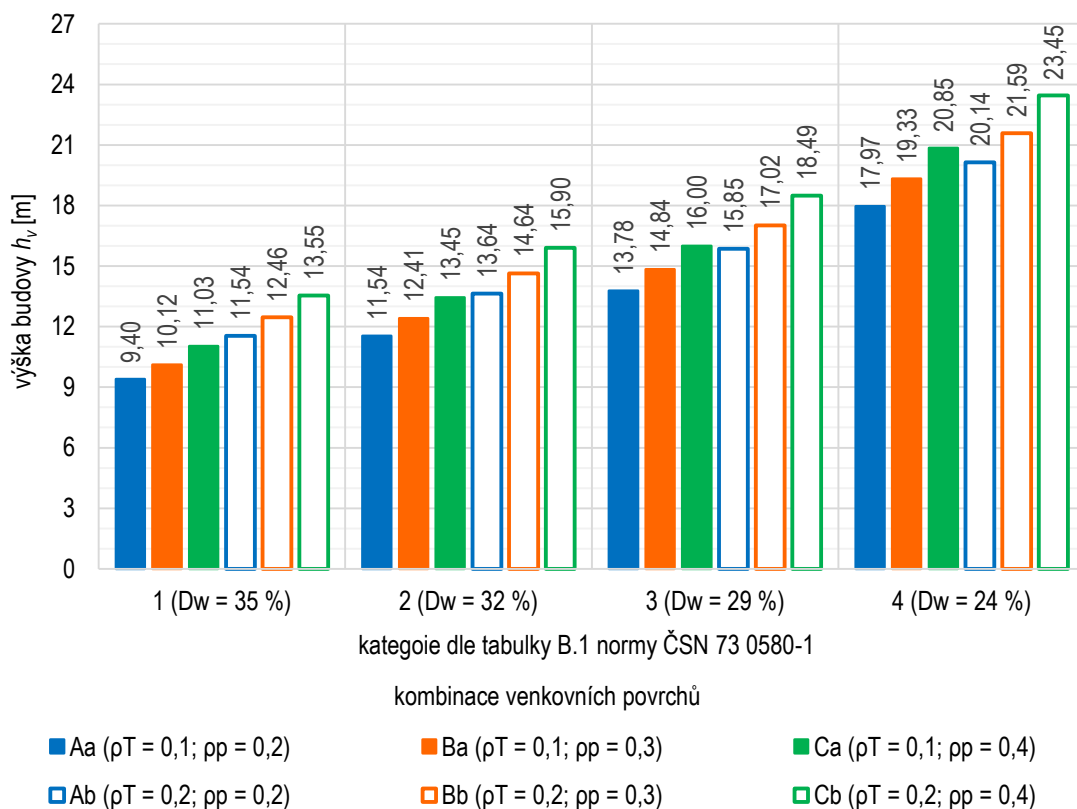
8.2 ODŮVODNĚNÍ NÁVRHŮ

Odůvodnění výše uvedených návrhů je provedeno pomocí případových studií, které dokládají vliv vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti na maximální výšku souběžné stínící překážky (např. řadová zástavba), velikost činitele denní osvětlenosti D_w a kvantum denního světla uvnitř místnosti.

8.2.1 Vliv reflektance venkovních povrchů na maximální výšku budovy z hlediska přístupu světla k okolním budovám

Limitní hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w jsou uvedeny pro čtyři kategorie lokalit a vnitřních prostorů v tabulce B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8]. V grafu na obr. 8.2.1 byly vyčísleny pro kategorie podle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8] maximální možné výšky souběžné vertikální překážky ve vzdálenosti 20 m od budovy s hodnocenou místností při kombinaci různých činitelů odrazu světla od terénu ρ_T a od překážky ρ_P . Hodnota činitele odrazu světla je přitom uvažována pro terén 0,10 nebo 0,20 a pro překážku 0,20, 0,30 a 0,40 (tzn. jsou použity hodnoty činitelů odrazu světla, které jsou uvedeny v ČSN 73 0580-1 [8] nebo v ČSN EN 17037 [24]). Při stanovení těchto maximálních výšek budov byla souběžná vertikální překážka uvažována podle schématu na obr. 7.1.1, přičemž kontrolní bod pro stanovení hodnoty D_w se nacházel ve výšce 2 m nad terénem. Výška budovy, při které bude pro jednotlivé kategorie dosaženo minimální požadované hodnoty D_w , byla stanovena pomocí úhlů stínění ε zjištěných z regresních modelů, které byly sestaveny v kapitole 7.6 pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Cb.

V případě kategorie 2 (běžné prostory s trvalým pobytem lidí) je činitele denní osvětlenosti D_w o hodnotě 32 % limitně dosaženo pro kombinaci venkovních povrchů Aa (nejnižší použité hodnoty činitele odrazu světla od terénu a od překážky) při výšce budovy 11,54 m, ale pro kombinaci venkovních povrchů Cb (nejvyšší použité hodnoty činitele odrazu světla od terénu a od překážky) při výšce budovy 15,90 m (viz obr. 8.2.1). **Rozdíl v těchto výškách tedy činí 4,36 m**, což představuje více než jedno typické nadzemní podlaží s konstrukční výškou 3 m. Ještě větší výškový rozdíl pro tyto dvě kombinace venkovních povrchů nastane pro kategorie 3 a 4, kdy u kategorie 4 je pro limitní dosažení činitele denní osvětlenosti D_w o hodnotě 24 % rozdíl ve stanovených výškách budovy roven 5,48 m (viz obr. 8.2.1). Z těchto hodnot a grafu na obr. 8.2.1 je zřejmé, že **volba hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů může značně ovlivnit výsledek hodnocení přípustnosti plánované stavby z hlediska vyhodnocení přístupu světla k průčelí stávajících budov pomocí činitele denní osvětlenosti D_w .**



Poznámka:

Výšky budov h_v stanoveny pro limitní dosažení činitele denní osvětlenosti D_w ve výšce 2 m nad terénem pomocí diagramů a regresních modelů na obr. 7.6.3 a obr. 7.6.4.

Souběžná vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené budovy uvažována podle schématu na obr. 7.1.1.

Obr. 8.2.1 Výška souběžné vertikální překážky ve vzdálenosti 20 m od hodnocené budovy pro limitní dosažení minimální požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w pro kategorie 1 – 4 podle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8] (autor)

Ve stavebnictví bývají posudky obvykle zpracovávány tzv. na stranu bezpečnou. V případě hodnocení vlivu budovy na přístup světla k průčelí stávající budovy, však nelze vyloučit situaci, kdy bude posouzení přístupu světla k průčelí budovy záměrně provedeno pro příliš vysoké nebo naopak příliš nízké hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních povrchů tak, aby výsledek světelně technického posouzení byl ve prospěch zadavatele posouzení. V praxi není výjimkou, že při povolení umístění stavby jsou z hlediska přístupu světla k průčelí okolních budov předkládány investorem a majiteli sousedních budov různé světelně technické výpočty se vzájemně protichůdnými závěry. Obvykle hlavní rozdíl v těchto posouzeních spočívá v odlišných světelně technických vlastnostech venkovních povrchů, protože geometrie zastíňovací situace je jasně daná. Tato situace nastává také v důsledku toho, že **kritérium činitele denní osvětlenosti D_w obsahuje vnější odraženou složku, avšak příslušnou normou není jasně definováno, jaké hodnoty činitele odrazu světla od vnějších povrchů mají být pro posouzení použity.**

8.2.2 Vliv změny reflektance venkovních povrchů na denní osvětlení zastíněné místnosti

Zahrnutí vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti do hodnotícího kritéria přístupu světla k průčelí budovy bez normativního stanovení konkrétních hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů se jeví problematické ale také z hlediska proměnlivosti světelně technických vlastností venkovních povrchů v průběhu životnosti stavby. V průběhu životnosti budovy dochází k postupnému snižování činitele odrazu světla od fasády v důsledku znečištění a také může být například změněna barva fasády. **Není však obvyklé, aby změna barvy fasády ze světlé na tmavou byla dokládána posouzením vlivu na přístup světla k průčelí okolních budov.**

Podle grafu na obr. 8.2.1 je při činiteli odrazu světla od terénu 0,20 a činiteli odrazu světla od překážky 0,40 možné ve vzdálenosti 20 m od hodnocené budovy (dle obr. 7.1.1) realizovat souběžnou překážku výšky 15,90 m při splnění činitele denní osvětlenosti D_w o hodnotě 32 %, která je požadována normou ČSN 73 0580-1 [8] pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí. Hodnota činitele odrazu světla od terénu 0,20 však ve výpočtu může být použita s odvoláním se na čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24], přestože se mezi hodnocenou a navrženou budovou ve skutečnosti nachází trávník nebo asfalt s činitelem odrazu světla 0,10. Dojde-li navíc v průběhu životnosti budovy ke změně barvy fasády ze spíše světlé s průměrným činitelem odrazu světla 0,40 na tmavou, může průměrná hodnota činitele odrazu světla od fasády poklesnout například až na hodnotu 0,20.

8.2.2.1 Popis případové studie

V následující případové studii je porovnáno, jak se změní denní osvětlení místnosti stíněné budovou výšky 15,90 m při změně hodnot činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,10 a změně činitele odrazu světla od průčelí budov z hodnoty 0,40 na hodnotu 0,20. Porovnávané varianty zastínění jsou popsány v tab. 8.2.1. V obou variantách zastínění je hodnocená místnost stíněna budovou výšky 15,90 m ve vzdálenosti 20 m dle schématu na obr. 7.1.1. Ve variantě zastínění I.2.Aa_{h_v = 15,90 m} je uvažován terén s činitelem odrazu světla $\rho_T = 0,10$ a průčelí budov s činitelem odrazu světla $\rho_p = 0,20$. Ve variantě zastínění I.2.Cb_{h_v = 15,90 m} má terén činitel odrazu světla $\rho_T = 0,20$ a průčelí budov jsou navržena s činitelem odrazu světla $\rho_p = 0,40$. Hodnocená místnost je uvažována dle kapitoly 7.2.

Tab. 8.2.1: Varianta zastínění pro porovnání vlivu snížení hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů na denní osvětlení zastíněné místnosti (autor)

varianta zastínění	popis
I.2.Aa _{h_v = 15,90 m}	souvislá vertikální překážka výšky $h_v = 15,90$ m ve vzdálenosti 20 m od průčelí budovy s hodnocenou místností, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,1$, činitel odrazu světla od průčelí budov $\rho_p = 0,20$ (schéma zastínění dle obr. 7.1.1)
I.2.Cb _{h_v = 15,90 m} = I.2.Cb _{D_w ≈ 32 %}	souvislá vertikální překážka výšky $h_v = 15,90$ m ve vzdálenosti 20 m od průčelí budovy s hodnocenou místností, činitel odrazu světla od terénu $\rho_T = 0,2$, činitel odrazu světla od průčelí budov $\rho_p = 0,40$ (schéma zastínění dle obr. 7.1.1)

Varianta zastínění I.2.Cb_{h_v} = 15,90 m je shodná jako varianta zastínění I.2.Cb_{D_w} ≈ 32 %, která již byla analyzována v kapitole 7.8. Pro variantu zastínění I.2.Aa_{h_v} = 15,90 m byla doplněna simulace denního osvětlení, která byla provedena dle parametrů uvedených v kapitole 7.4.

8.2.2.2 Výsledky případové studie

Obdobně jako v kapitole 7.8 byly pro variantu zastínění I.2.Aa_{h_v} = 15,90 m a I.2.Cb_{h_v} = 15,90 m vyčíslena kritéria $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$ a také maximální vzdálenosti od okenní stěny $l_{w, 100 lx, 50 \%}$, $l_{w, 300 lx, 50 \%}$, $l_{w, 0,7 \%}$ a $l_{w, 2,0 \%}$, ve kterých je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo osvětlenosti alespoň po 50 % doby s denním světlem. Výsledky sledovaných kritérií jsou pro porovnávané varianty zastínění I.2.Aa_{h_v} = 15,90 m a I.2.Cb_{h_v} = 15,90 m uvedeny v tab. 8.2.2. Hodnoty činitele denní osvětlenosti a kritérií $F_{time, 100 lx, i}$ a $F_{time, 300 lx, i}$ jsou zobrazeny na obr. 8.2.2, obr. 8.2.4 a obr. 8.2.6.

Tab. 8.2.2: Hodnoty kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$, maximální vzdálenost od okenní stěny $l_{w, 100 lx, 50 \%}$, $l_{w, 300 lx, 50 \%}$, $l_{w, 0,7 \%}$, $l_{w, 2,0 \%}$ pro hodnocené varianty zastínění při výšce souběžné vertikální překážky $h_v = 15,90 m$ (autor)

varianta zastínění	D_w [%]	severní okno				jižní okno				$F_{point, 0,7 \%}$ [%]	$l_{w, 0,7 \%}$ [m]	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	$l_{w, 2,0 \%}$ [m]
		$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$l_{w, 100 lx, 50 \%}$ [m] ¹⁾	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	$l_{w, 300 lx, 50 \%}$ [m] ²⁾	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	$l_{w, 100 lx, 50 \%}$ [m] ¹⁾	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	$l_{w, 300 lx, 50 \%}$ [m] ²⁾				
I.2.Aa _{h_v} = 15,90 m	26,42	23,81	1,50	11,36	1,00	23,81	1,50	13,19	1,00	23,08	1,50	12,09	1,00
I.2.Cb _{h_v} = 15,90 m = I.2.Cb _{D_w} ≈ 32 %	32,02	38,10	2,50	16,48	1,25	36,26	2,25	17,22	1,25	30,77	2,00	14,29	1,25

Vysvětlivky:

- 1) $l_{w, 100 lx, 50 \%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 100 lx pro podíl doby s denním světlem alespoň 50 %;
- 2) $l_{w, 300 lx, 50 \%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 300 lx pro podíl doby s denním světlem alespoň 50 %;
- 3) $l_{w, 0,7 \%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo minimální cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti 0,7 %;
- 4) $l_{w, 2,0 \%}$ [m] – maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti 2,0 %.

Poznámka:
Popis variant zastínění uveden v tab. 8.2.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

8.2.2.3 Vyhodnocení případové studie

V hodnoceném bodě pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w došlo snížením hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů k poklesu hodnoty z 32,02 % na 26,42 % (tj. snížení o 5,60 p. b., což představuje relativní snížení hodnoty o 17,49 %). Zatímco tedy ve variantě zastínění I.2.Cb_{h_v} = 15,90 m s vyššími hodnotami činitele odrazu světla byly splněny požadavky na přístup světla k průčelí budovy pro kategorii 2 dle tabulky B.1 normy

ČSN 73 0580-1 [8], pro variantu zastínění I.2.Aa_{h_v} = 15,90 m je hodnota činitele denní osvětlenosti D_w nižší než minimální požadovaná hodnota pro kategorii 3.

Také uvnitř místnosti došlo snížením hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů k poklesu hodnot činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech (viz obr. 8.2.2). V grafu na obr. 8.2.3 je znázorněn průběh hodnot činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti v závislosti na vzdálenosti od okenní stěny l_w . V grafu jsou také vyznačeny hodnoty činitele denní osvětlenosti 0,7 % (minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti dle ČSN EN 17037 [24]) a 2,0 % (cílová hodnota činitele denní osvětlenosti dle ČSN EN 17037 [24]).

Činitel denní osvětlenosti v kontrolních bodech uvnitř místnosti	
varianta zastínění I.2.Aa _{h_v} = 15,90 m vertikální překážka	varianta zastínění I.2.Cb _{D_w} ≈ 32 % = I.2.Cb _{h_v} = 15,90 m vertikální překážka
0,00	0,00
0,25	0,25
0,50	0,50
0,75	0,75
1,00	1,00
1,25	1,25
1,50	1,50
1,75	1,75
2,00	2,00
2,25	2,25
2,50	2,50
2,75	2,75
3,00	3,00
3,25	3,25
3,50	3,50
3,75	3,75
4,00	4,00
4,25	4,25
4,50	4,50
4,75	4,75
5,00	5,00
5,25	5,25
5,50	5,50
5,75	5,75
6,00	6,00

Poznámka:

Popis variant zastínění uveden v tab. 8.2.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

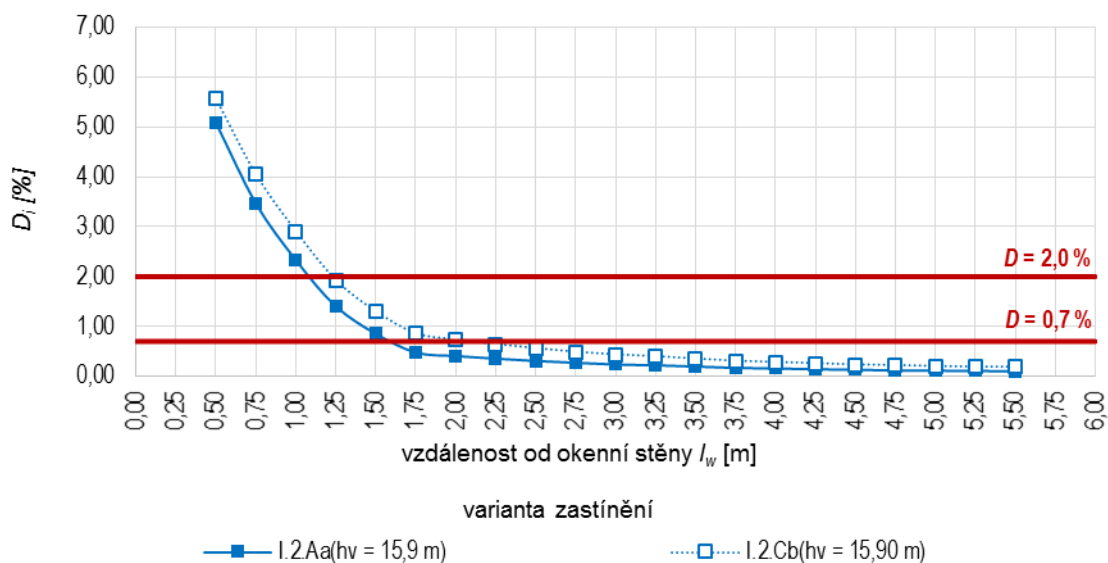
Obr. 8.2.2 Činitel denní osvětlenosti uvnitř hodnocené místnosti pro porovnávané varianty zastínění (autor)

Obě porovnávané varianty zastínění mají shodnou geometrii, proto je oblohová složka činitele denní osvětlenosti v obou místnostech stejná. Činitel denní osvětlenosti o hodnotě 2,0 % je zajišťován zejména oblohovým světlem. Hodnoty činitele denní osvětlenosti 2,0 % je tedy v obou porovnávaných situacích dosaženo v kontrolním bodě uprostřed šířky místnosti v podobné vzdálenosti od okenní stěny – konkrétně v hloubce 1,25 m u stínící překážky I.2.Cb_{h_v} = 15,90 m a 1,00 m u stínící překážky I.2.Aa_{h_v} = 15,90 m. Nižší světelné reflektance venkovních povrchů vyvolaly pokles kritéria $F_{point, 2,0\%}$ ze 14,29 % na 12,09 %.

Se vzrůstající vzdáleností kontrolních bodů od okenní stěny se u hodnot činitele denní osvětlenosti zvyšuje podíl odražené složky a klesá podíl oblohové složky. Při zastínění hodnocené místnosti překážkou výšky 15,90 m (viz obr. 7.8.11) je hodnota činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti ve vzdálenosti 3 m a větší od okenní stěny tvořena již pouze odraženou složkou. Vliv snížení světelné reflektance venkovních povrchů na denní osvětlení uvnitř místnosti je tedy více patrný z porovnání hloubek místnosti, ve kterých je ještě možné splnit hodnotu činitele denní osvětlenosti 0,7 %. U místnosti ve

variantě zastínění I.2.Cb_{h_v = 15,90 m} s vyšší světelnou reflektancí venkovních povrchů bylo hodnoty činitele denní osvětlenosti alespoň 0,7 % dosaženo v kontrolním bodě uprostřed šířky místnosti až do vzdálenosti 2,00 m od okenní stěny. Kvůli nižším hodnotám činitelů odrazu světla od venkovních povrchů je ve variantě zastínění I.2.Aa_{h_v = 15,90 m} při stejné výšce překážky dosaženo hodnoty činitele denní osvětlenosti 0,7 % v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti maximálně v hloubce 1,50 m. **Snížením hodnot činitelů odrazu světla venkovních povrchů došlo v kontrolním bodě uprostřed šířky místnosti v hloubce 2 m ke snížení činitele denní osvětlenosti z 0,74 % na 0,41 % (tj. relativní snížení hodnoty o 44,6 %).** Uvedené snížení hodnot činitele denní osvětlenosti v místnosti lze považovat za významné. Zatímco hodnota činitele denní osvětlenosti 0,74 % ještě vyhovuje minimální cílové hodnotě dle normy ČSN EN 17037 [24], hodnota činitele denní osvětlenosti 0,41 % již není postačující ani z hlediska možného návrhu sdruženého osvětlení ve smyslu požadavků normy ČSN 36 0020 [20].

Pokud by analyzovaná místnost byla hodnocena jako obytná dle normy ČSN 73 0580-2 [11], bylo by vyhodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti provedeno ve dvou kontrolních bodech uprostřed hloubky místnosti (v maximální vzdálenosti 3 m od okenní stěny) ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn. Tyto dva kontrolní body jsou vyznačeny na obr. 8.2.2. Ani u jedné z porovnávaných variant zastínění by v těchto kontrolních bodech nebyl splněn požadavek ani na minimální hodnotu činitele denní osvětlenosti 0,7 %. V hodnocené místnosti by však snížením reflektance venkovních povrchů došlo ke snížení hodnot činitele denní osvětlenosti z 0,40 % na 0,23 % - tj. relativní snížení o 42,5 %.



Poznámka:

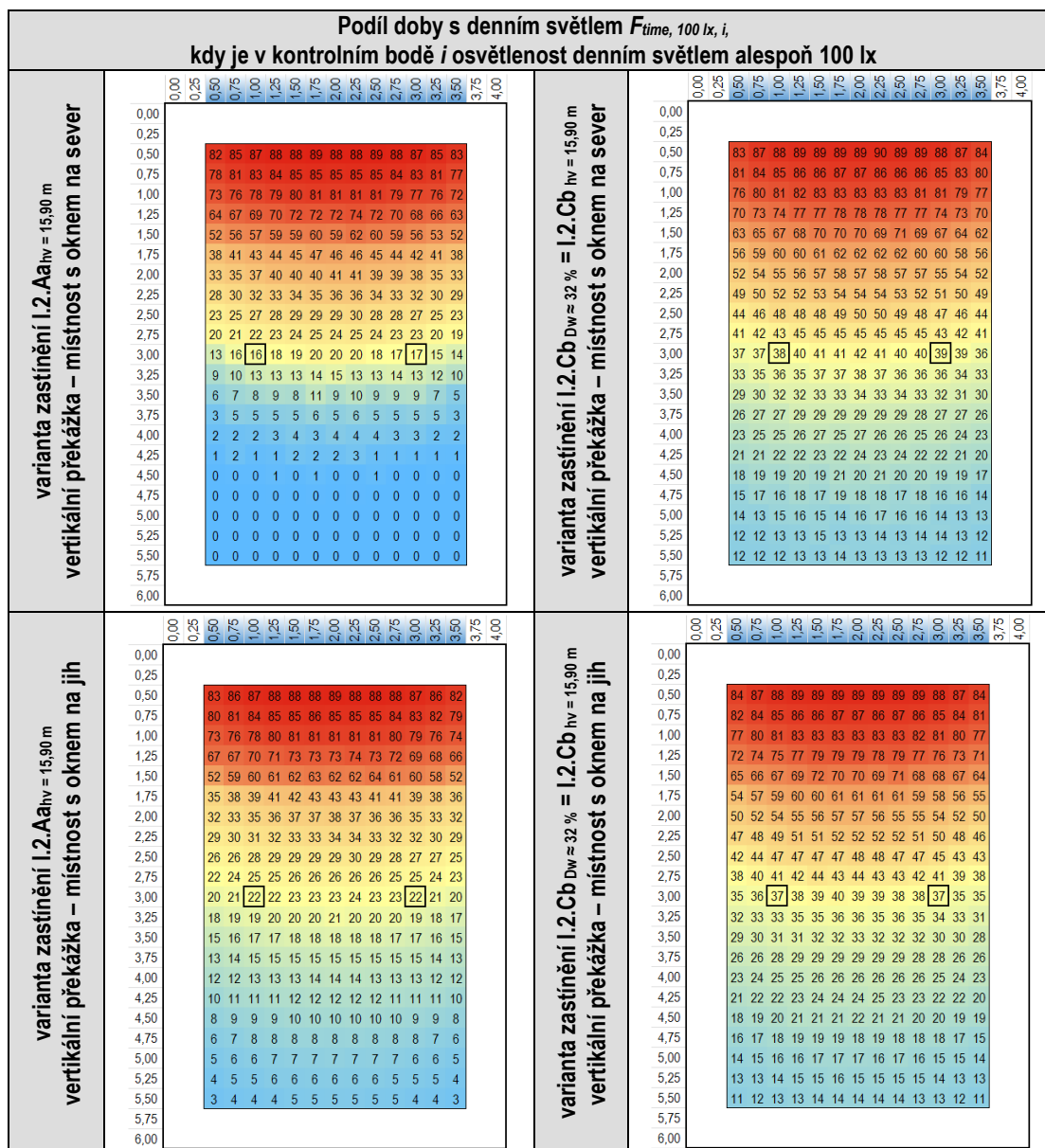
Popis variant zastínění uveden v tab. 8.2.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Obr. 8.2.3 Závislost hodnot činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro porovnávané varianty zastínění (autor)

Snížením hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů došlo také k výraznému poklesu části doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$, $F_{time, 300 lx, i}$, po kterou je v jednotlivých kontrolních bodech uvnitř místnosti dosažena minimální cílová osvětlenost 100 lx a cílová osvětlenost 300 lx (viz obr. 8.2.4 a obr. 8.2.6). V grafech na obr. 8.2.5 a obr. 8.2.7 je pro

kontrolní body uprostřed šířky místnosti zobrazen průběh závislosti podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$, $F_{time, 300 lx, i}$ na vzdálenosti od okenní stěny l_w . V těchto grafech je také vyznačena hodnota $F_{time, 100 lx, i} = 50\%$ a $F_{time, 300 lx, i} = 50\%$, která vymezuje dosažení osvětlenosti 100 lx nebo 300 lx v kontrolním bodě po 50 % doby s denním světlem.

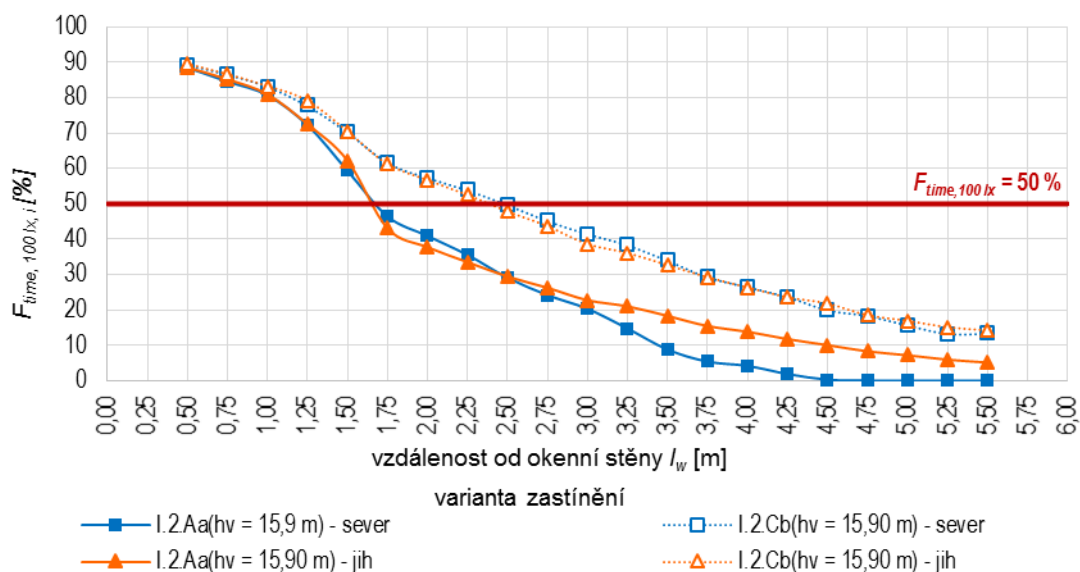
U místnosti s oknem na sever i na jih došlo snížením hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů k posunutí maximální vzdálenosti, kde bylo ve výšce 850 mm nad podlahou uprostřed šířky místnosti dosaženo osvětlenosti 100 lx alespoň po 50 % doby s denním světlem, z hloubky místnosti 2,5 m do hloubky zhruba 1,7 m (viz graf na obr. 8.2.5). Hodnota kritéria $F_{point, 100 lx}$ se dle tab. 8.2.2 nižila z 38,10 % na 26,42 % u severně orientované místnosti a z 36,26 % na 23,81 % u jižně orientované místnosti.



Poznámka:

Popis variant zastínění uveden v tab. 8.2.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Obr. 8.2.4 Podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v místnostech s oknem na jih a na sever pro porovnávané varianty zastínění (autor)



Poznámka:

Popis variant zastínění uveden v tab. 8.2.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2.

Obr. 8.2.5 Závislost podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ na vzdálenosti od okenní stěny pro porovnané varianty zastínění se severně a jižně orientovanou místností (autor)

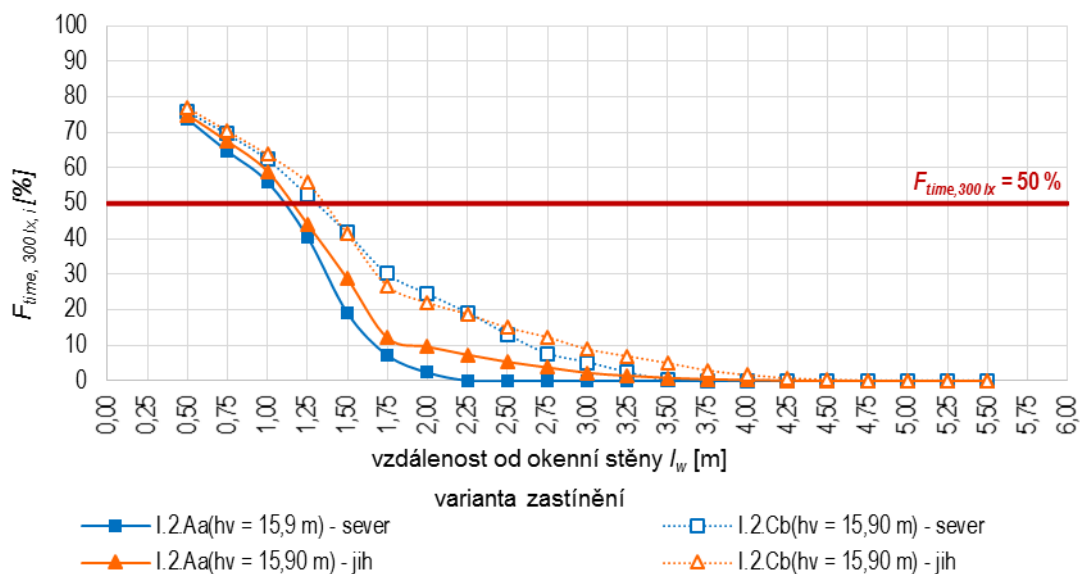
Z obr. 8.2.4 a obr. 8.2.5 je také patrné, že v ploše místnosti dochází ke snížení podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ až o 22 p. b. u severně orientované místnosti a až o 20 p. b. u jižně orientované místnosti. Tento pokles podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ je nejvíce výrazný od hloubky místnosti 1,75 m.

Na obr. 8.2.4 jsou uprostřed hloubky místnosti ve vzdálenosti 1 m od bočních stěn vyznačeny body, ve kterých by se provádělo hodnocení denního osvětlení pomocí činitele denní osvětlenosti obytné místnosti dle normy ČSN 73 0580-2 [11]. V důsledku snížení činitelů odrazu světla od venkovních povrchů je v těchto bodech dosaženo úrovně denní osvětlenosti alespoň 100 lx po dobu s denním světlem kratší o 22 p. b. u severně orientované místnosti a o 15 p. b. u jižně orientované místnosti. **Jedná se o relativní snížení doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ o 56 % u severně orientované místnosti a o 41 % u jižně orientované místnosti. Takovéto snížení doby s denním světlem lze považovat za významné a uživateli místnosti postřehnutelné.**

V případě dosažení hladiny osvětlenosti v úrovni 300 lx po minimálně 50 % doby s denním světlem, není vliv snížení reflektancí venkovních povrchů tolik výrazný jako u hladin osvětlenosti 100 lx. U místnosti se severně i jižně orientovaným oknem bylo ve středu šířky místnosti na vodorovné srovnávací rovině ve výšce 850 mm nad podlahou v důsledku snížení činitelů odrazu světla od venkovních povrchů dosaženo kritéria $F_{time, 300 lx, i}$ do hloubky zhruba 1,15 m namísto původních 1,35 m. Podíl kontrolních bodů vyhovujících kritériu $F_{point, 300 lx}$ se snížil o 5,12 p. b. u severně orientované místnosti a o 4,03 p. b. u jižně orientované místnosti (viz tab. 8.2.2).

Z hodnoty kritéria $F_{point, 300 lx, i}$ by se tedy mohlo zdát, že nižší činitele odrazu světla od venkovních povrchů mají malý vliv na denní osvětlení v místnosti. Z grafu na obr. 8.2.7 a hodnot $F_{time, 300 lx, i}$ v ploše místnosti na obr. 8.2.6 je však patrné, že ve vzdálenosti od okna

od venkovních povrchů v těchto bodech bylo pro osvětlenost 300 lx dosaženo podílu doby s denním světlem pouze v jednotkách procent.



Poznámka:

Popis variant zastínění uveden v tab. 8.2.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 7.2

Obr. 8.2.7 Závislost podílu doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ na vzdálenosti od okenní stěny pro porovnávané varianty zastínění se severně a jižně orientovanou místností (autor)

8.2.2.4 Shrnutí výsledků případové studie

Prostřednictvím příkladu místnosti stíněné souběžnou vertikální překážkou před oknem (např. řadová zástavba) bylo poukázáno na vliv hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů na hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w , činitele denní osvětlenosti D_i v kontrolních bodech uvnitř místnosti a na podíl doby s denním světlem, po kterou je v kontrolních bodech během roku dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx (kritérium $F_{time, 100 lx, i}$) a 300 lx (kritérium $F_{time, 300 lx, i}$).

Hodnota činitele denní osvětlenosti D_w se v této případové studii snížila vlivem změny činitelů odrazu světla od venkovních povrchů z hodnoty 32,02 % na 26,42 %. Z hlediska vyhodnocení přístupu světla k průčelí budovy, tak při původních (vyšších) hodnotách činitelů odrazu světla od venkovních povrchů bylo dosaženo splnění požadavku pro kategorii 2 dle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8], zatímco pro nové (nižší) hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních povrchů nebyla splněna ani minimální požadovaná hodnota činitele denní osvětlenosti D_w pro kategorii 3 (tj. prostory s trvalým pobytem lidí v souvislé řadové zástavbě v centrech měst).

Také z hlediska vlivu na denní osvětlení v místnosti došlo v kontrolních bodech uvnitř místnosti k významnému snížení hodnot činitele denní osvětlenosti a podílu doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ a $F_{time, 300 lx, i}$. Snížením hodnot činitele odrazu světla od naproti stojící budovy došlo zejména ke snížení hloubky místnosti, ve které je dosažitelná hodnota činitele denní osvětlenosti 0,7 %. V kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti se tato hloubka snížila z původních 2,0 m na 1,5 m. Zároveň se od hloubky místnosti 1,75 m (viz obr. 8.2.2) hodnoty činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech relativně snížily většinou o více než 40 %.

Hodnotě činitele denní osvětlenosti 0,7 % odpovídá dle ČSN EN 17037 [24] osvětlenost 100 lx dosažená alespoň po 50 % doby s denním světlem. V tomto případě došlo snížením hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů ke zmenšení hloubky, ve které je uprostřed šířky místnosti ve výšce 850 mm nad podlahou možné zajistit osvětlenost minimálně 100 lx po alespoň 50 % doby s denním světlem, z 2,5 m na zhruba 1,7 m u severně i jižně orientované místnosti. Z hlediska kontrolních bodů v ploše místnosti (obr. 8.2.4) se hodnota $F_{time,100\ lx}$ snížila o více než 15 p. b. u více než 60 % kontrolních bodů severně orientované místnosti a u téměř 30 % kontrolních bodů u jižně orientované místnosti. Hodnota osvětlenosti nižší než 100 lx přitom dle průzkumu [98] představuje úroveň osvětlenosti, která sama o sobě není dostatečná pro zajištění osvětlení v místnosti a musí být doplněna o umělé osvětlení. Snížení činitelů odrazu světla od venkovních povrchů by tedy v hodnocené místnosti vedlo také ke zvýšení podílu doby, kdy by její dostatečné osvětlení bylo nutné zajistit prostřednictvím umělého osvětlení namísto osvětlení denního.

Na dosažení hodnot činitele denní osvětlenosti 2,0 % nebo osvětlenosti 300 lx se podílí zejména neodražené denní světlo. Protože geometrie obou variant zastínění je stejná, nedochází vlivem změny činitelů odrazu světla od venkovních povrchů k natolik významnému snížení procentuálního podílu bodů s vyhovujícím činitelem denní osvětlenosti 2,0 % nebo osvětleností 300 lx jako u předcházejícího vyhodnocení pro činitel denní osvětlenosti 0,7 % a hladinu osvětlenosti 100 lx.

Závěrem lze tedy shrnout, že v prezentované případové studii snížení hodnot činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,20 na hodnotu 0,10 a činitele odrazu světla od průčelí budov z hodnoty 0,40 na hodnotu 0,20 vedlo k významnému snížení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w i k významnému snížení kvanta denního osvětlení v místnosti z hlediska hodnocení vnitřního prostředí. **Takto vzájemně rozdílné výsledky mohou nastat nejen v důsledku změny činitelů odrazu světla od venkovních povrchů v průběhu životnosti stavby, ale také v důsledku subjektivně zvolených parametrů hodnocení zpracovateli posouzení v důsledku normativně nestanovené jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od terénu a jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od venkovních překážek, pro které by měl být proveden výpočet činitele denní osvětlenosti D_w .**

8.3 SHRUTÍ K NÁVRHŮM ÚPRAVY HODNOCENÍ PŘÍSTUPU SVĚTLA K PRŮČELÍ BUDOVY

V kapitole 8.1 byly formulovány tři návrhy pro úpravu hodnocení přístupu světla k průčelí budovy. Všechny tři návrhy by měly vést k větší transparentnosti a objektivitě hodnocení přístupu světla k průčelí budovy a k menším rozdílům ve výsledcích posouzení zpracovaných více posuzovateli pro stejnou hodnocenou situaci. Vliv použitých hodnot činitelů odrazu světla od venkovních povrchů na hodnotu činitele denní osvětlenosti D_w a denní osvětlení uvnitř místnosti byl doložen případovou studií.

V návrzích 1 a 2 je hodnocení přístupu světla k průčelí budovy uvažováno včetně odražené složky činitele denní osvětlenosti v kontinuitě se stávající normou ČSN 73 0580-1 [8]. Odražená složka činitele denní osvětlenosti od terénu a venkovních objektů je velmi proměnná v čase a skutečnou hodnotu činitele denní osvětlenosti včetně vnější odražené složky je v daném

místě možné zjistit pouze měření in-situ. V případě návrhu 1 (tj. stanovení jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od terénu a jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od ostatních venkovních objektů) bych se přiklápěla ke stanovení následujících hodnot:

- činitel odrazu světla od terénu o hodnotě 0,10 (tráva, asfalt) dle současného ustanovení čl. A.20 normy ČSN 73 0580-1 [8];
- činitel odrazu světla od ostatních venkovních objektů o hodnotě 0,20 – 0,30 (hodnota činitele odrazu světla 0,30 byla uvedena v čl. 2.6 normy ČSN 73 0580-2 z roku 1992 [9], hodnoty činitele odrazu světla 0,20 – 0,30 od venkovních stěn jsou zároveň v souladu s čl. B.3.2.1 normy ČSN EN 17037 [24]).

V případě návrhu 1 by hodnotu činitele denní osvětlenosti bylo možné stanovit v jakémkoliv programu pro simulaci denního osvětlení, ve kterém se světelně technické vlastnosti povrchů definují pomocí činitele odrazu světla a ve kterém jsou tyto výpočty prováděny i dnes. **Pokud by však současně bylo možné definovat terén a stínící překážky také jednou konkrétní hodnotou činitele jasu (například hodnotou $k_y = 0,10$), lze očekávat, že by se hodnoty odražené složky stanovené metodou využívající hodnoty činitele jasu a metodou využívající hodnoty činitele odrazu světla vzájemně lišily.**

Podle návrhu 2 by výpočty hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w měly být stanovovány pouze metodou využívající pro stanovení vnější odražené složky jedné konkrétní hodnoty činitele jasu pro terén a pro stínící překážky. Tato úprava hodnocení přístupu světla k průčelí budovy by pro identickou situaci vedla ke stejným výsledkům. Výhodou je překontrolovatelnost výsledků graficko-početními metodami (např. Waldramův diagram).

Na základě literární rešerše, provedené analýzy denního osvětlení zastíněných budov v této dizertační práci a na základě svých dosavadních zkušeností s hodnocením přístupu světla k průčelí budov se však **z uvedených tří návrhů nejvíce přiklápím k návrhu 3 – tzn. hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s}$.** Denní osvětlení zastíněných budov velmi závisí na oblohové složce činitele denní osvětlenosti, která je dána jednoznačně určenou geometrií zastiňovací situace. Oblohovou složku činitele denní osvětlenosti lze zjistit výpočtem v programech, ve kterých je dnes stanovována hodnota činitele denní osvětlenosti D_w . Způsob stanovení oblohové složky činitele denní osvětlenosti se v konkrétním programu odvíjí od možností jeho nastavení. V každém programu však lze provést výpočet oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s}$ pomocí stanovení nulových hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů. Ověření výpočtu je možné provést graficko-početními výpočtovými metodami (např. Waldramův diagram). V návaznosti na současné požadavky na činitel denní osvětlenosti D_w by limitní hodnoty oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s}$ bylo možné s využitím úhlů stínění ε uvedených v tabulce B.1 normy ČSN 73 0580-1 a s využitím vzorce (2.5.10) stanovit následovně: kategorie 1 – úhel stínění $\varepsilon = 24^\circ$: $D_{ws} = 27,9 \%$, kategorie 2 – úhel stínění $\varepsilon = 30^\circ$: $D_{ws} = 24,4 \%$, kategorie 3 – úhel stínění $\varepsilon = 36^\circ$: $D_{ws} = 20,7 \%$, kategorie 4 – úhel stínění $\varepsilon = 45^\circ$: $D_{ws} = 15,4 \%$.

9.1 VALIDACE PROGRAMU DAYSIM

Program Daysim byl z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze s gradací jasu od horizontu k zenitu 1:3 (obloha CIE 16) validován pomocí **metodiky CIE 171: 2006 [6], měření na modelu a měření in-situ**. Na základě provedené literární rešerše (např. [54]; [55]; [56]; [83]; [95]; [104] str. 67 – 68) lze relativní chyby výpočty stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti od hodnot referenčních a také hodnoty kritérií $rMBE$ a $rRMSE$ zjištěné u provedených validací považovat za **akceptovatelné z hlediska použití programu pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov** (viz zejména kapitoly 5.3.3, 5.4.8 a 5.5.2.5, 5.5.3.6 a 5.5.4 a 5.6).

Pro validaci programu Daysim dle metodiky CIE 171: 2006 [6] z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 byly použity testové situace 5.9 až 5.14. Z provedené validace programu Daysim, analýzy testových situací a literární rešerše (např. [42]; [100]; [122]; [123]) však vyplynulo, že **validaci programu Daysim z hlediska hodnot činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16 bude dle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 [6] možné provést pouze pro 66 ze 192 referenčních hodnot. V těchto 66 referenčních hodnotách je zahrnuta pouze oblohová složka činitele denní osvětlenosti**. V tab. 5.3.17 bylo shrnuto, z jakých důvodů nebylo možné provést validaci programu Daysim pro zbývající referenční hodnoty, které jsou metodikou CIE 171: 2006 [6] uvedeny pro testové situace 5.9 až 5.14 při obloze CIE 16. Mezi hlavní příčiny neproveditelnosti validace patřily zejména:

- neúplné okrajové podmínky testové situace (např. definování propustnosti zasklení pomocí tloušťky skla bez uvedení hodnoty činitele prostupu světla zasklení, chybějící hodnota činitele odrazu světla od překážek);
- předpoklad nereálného jednotného jasu terénu a nebo stínící překážky (program Daysim stanovuje jas povrchů včetně vzájemného stínění objektů světelné scény);
- chybně uvedené referenční hodnoty.

Závěry týkající se proveditelnosti validace programu Daysim dle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 [6] jsou aplikovatelné i na jiné programy, ve kterých se světelná propustnost zasklení definuje pomocí činitele prostupu světla a nikoliv tloušťkou skla nebo ve kterých je jas povrchů stanovován včetně vzájemného stínění objektů. **Pro mnohé dnes používané světelně simulační programy je tedy aplikovatelnost metodiky CIE 171: 2006 [6] velmi omezená z hlediska ověření oblohové i vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti**. Ověření výpočtu vnitřní odražené složky denního osvětlení je dle metodiky CIE 171: 2006 [6] možné provést testovými situacemi 5.6 a 5.7, ve kterých je ale předpokládáno provedení výpočtu pouze pro přímé sluneční světlo s vyloučením světla oblohového. **Pro výpočet vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze metodika CIE 171: 2006 [6] nedefinuje testové situace**. Pomocí metodiky CIE 171: 2006 [6] tedy bylo možné provést validaci výpočtů v programu

Daysim pouze pro oblohovou složku činitele denní osvětlenosti a pouze pro některé z bodů v rámci hodnocených testových situací.

9.1.1 Přínos pro praxi

Přínosem provedené validace pro praxi je **ověření přesnosti programu Daysim při výpočtu hodnot činitele denní osvětlenosti u zastíněných budov.**

9.1.2 Přínos pro vědní obor

Přínosem této části dizertační práce pro vědní obor je **analýza a vyhodnocení aplikovatelnosti metodiky CIE 171: 2006 [6] pro validaci dnes používaných světelně simulačních programů.**

9.1.3 Možnosti dalšího výzkumu

Pro výpočet činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze by měly být používány validované programy – viz čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [24]. Norma ČSN EN 17037 [24] přitom uvádí, že validaci je možné provést dle metodiky CIE 171: 2006 [6]. Jak již bylo uvedeno výše, z hlediska činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze je proveditelnost validace dnes používaných světelně technických programů dle metodiky CIE 171: 2006 [6] značně omezená. V současnosti přitom není sestavena jiná obecně uznávaná metodika, kterou by bylo možné použít z hlediska validace hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených světelně technickými programy. Možností dalšího výzkumu v oblasti validace světelně simulačních programů tedy je **návrh a vytvoření nové metodiky pro validaci programů pro simulace denního osvětlení budov.** Tato metodika by měla vycházet z reálných předpokladů a zahrnovat i komplexnější testové situace. Zároveň by v metodice měla být stanovena maximální přípustná chyba vypočtené hodnoty od hodnoty referenční, při které lze pro danou testovou situaci program považovat za dostatečně přesný pro světelně technická hodnocení.

9.2 ANALÝZA DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Přístup světla k průčelí budovy se podle přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8] hodnotí pomocí činitele denní osvětlenosti D_w roviny zasklení okna z vnější strany. Zavedení činitele denní osvětlenosti D_w jako kritéria přístupu světla k průčelí budovy bylo například v článku [73] odůvodňováno tím, že činitel denní osvětlenosti D_w je „*kritériem, jehož účelem je rozlišit, do jaké míry se na nevyhovujícím stavu osvětlení podílí vnější stínění a do jaké míry je způsobeno nevhodným uspořádáním posuzované místnosti a jejího osvětlovacího otvoru.*“ Komparativní analýzou kvanta denního osvětlení uvnitř identické místnosti stíněné různými překážkami však bylo v dizertační práci zjištěno, že **přibližně shodná hodnota činitele denní osvětlenosti D_w má pro rozdílné stínící překážky odlišnou vypovídající hodnotu z hlediska kvanta denního světla uvnitř zastíněné místnosti** (viz zejména kapitoly 6, 7.8 a 7.9).

Z provedených měření i výpočtů vyplynulo (viz zejména kapitoly 6, 7.6, 8.2.1 a 8.2.2), že **reflektance venkovních povrchů může výrazně ovlivnit hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w z hlediska vyhodnocení splnění požadavků přílohy B normy ČSN 73 0580-1 [8].** Na

základě těchto zjištění byly v kapitole 8.1 navrženy 3 možné úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy:

- 1) Stanovení jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od terénu a jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od venkovních překážek, pro které se má provádět hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí činitele denní osvětlenosti D_w .
- 2) Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí činitele denní osvětlenosti D_w pouze metodou, ve které je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti stanovena pomocí činitele jasu překážky a terénu.
- 3) Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pouze pomocí oblohové složky činitele denní osvětlenosti $D_{w,s}$.

9.2.1 Přínos pro praxi

Pro definované způsoby zastínění byly v kapitole 7.6 dizertační práce sestaveny **diagramy a regresní modely závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε** (vertikální překážka, horizontální překážka) **nebo indexu atria WI** (vnitroblok čtvercového půdorysu). Současná norma ČSN 73 0580-1 [8] obsahuje diagram na obrázku B.2, pomocí kterého lze stanovit hodnotu D_w v závislosti na úhlu stínění ε pouze pro souběžnou překážku před oknem při činiteli jasu k_y překážky i terénu o hodnotě 0,10. Sestavené diagramy se od diagramu na obrázku B.2 v normě ČSN 73 0580-1 [8] liší zejména v následujícím:

- diagramy jsou sestaveny pro více způsobů zastínění;
- diagramy jsou sestaveny pro šest kombinací činitelů odrazu světla, jejichž hodnoty vychází z norem ČSN 73 0580-1 [8] a ČSN EN 17037 [24].

Diagramy byly pro definované způsoby zastínění sestaveny pomocí regresních modelů na základě dat ze světelných simulací v programu Daysim. Regresními modely je popsána závislost činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε nebo indexu WI pomocí polynomických funkcí. Hodnoty činitele denní osvětlenosti tak lze kromě grafického odečtu z diagramu stanovit také výpočtem.

Pomocí sestavených diagramů a regresních modelů závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε nebo indexu WI lze zejména v rámci přípravné fáze projektu orientačně stanovit vliv navržené stavby na přístup světla k průčelí okolních budov. Vždy je však nutné posoudit aplikovatelnost sestavených diagramů na hodnocenou zastiňovací situaci.

Pro hodnocenou místnost (šířka 4 m, hloubka 6 m, světlá výška 2,6 m) osvětlovanou oknem šířky 3 m, výšky 1,5 m s výškou parapetu 850 mm bylo ověřeno, že je možné **sestavit regresní modely závislosti kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w .** Regresní modely jsou v kapitole 7.10 sestaveny samostatně pro vertikální překážku, horizontální překážku a vnitroblok čtvercového půdorysu. Kritéria $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 2,0 \%}$, $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 300 lx, 50 \%}$, vyjadřují procentuální podíl kontrolních bodů v místnosti, ve kterých je splněna minimální cílová nebo cílová hodnota činitele denní

osvětlenosti nebo osvětlenosti po alespoň 50 % doby s denním světlem (kritéria jsou podrobněji popsána v kapitole 7.3).

Sestavené regresní modely závislosti kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w lze využít pro orientační stanovení kvanta denního světla v místnosti zejména v rámci přípravné fáze projektu. Při práci s těmito regresními modely je však vždy nutné zvážit jejich aplikovatelnost v konkrétní situaci s ohledem na způsoby zastínění a parametry místnosti, které byly pro sestavení regresních modelů použity.

Diagramy a regresních modely závislosti činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε nebo indexu atria WI společně s regresními modely závislosti kritérií $F_{point, 100 lx, 50 \%}$, $F_{point, 0,7 \%}$, $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ a $F_{point, 2,0 \%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w mohou v přípravné fázi projektu představovat **pomůcky pro projektanty pro orientační vyhodnocení denního osvětlení. Konkrétní vyhodnocení denního osvětlení je vždy nutné provést výpočtem pro danou hodnocenou situaci.**

Na základě sestavených regresních modelů dle simulací v programu Daysim s využitím klimatických dat pro Prahu se **dle porovnání v kapitole 7.11 cílová a minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti stanovené pro Českou republiku v normě ČSN EN 17037 [24] jeví pro většinu analyzovaných zastíňovacích situací ekvivalentní cílové a minimální cílové hodnotě osvětlenosti.**

9.2.2 Přínos pro vědní obor

Přínosem provedené analýzy denního osvětlení zastíněných budov pro vědní obor jsou teoretické i praktické poznatky v oblasti denního osvětlení zastíněných budov, a to zejména z hlediska hodnocení denního osvětlení pomocí klimatických dat dostupných pro Prahu.

9.2.3 Možnosti dalšího výzkumu

V oblasti analýzy denního osvětlení zastíněných budov je na dizertační práci možné navázat v následujících směrech:

- rozšíření analýzy o místnosti s jinou orientací oken než jih a sever;
- rozšíření analýzy o více typů místností s různými velikostmi a parametry oken;
- rozšíření analýzy o budovy se složitějším zastíněním (například kombinace více stínících překážek);
- rozšíření analýzy o místnosti vybavené stínícími prostředky (např. žaluzie, slunolamy) pro redukci přímého slunečního záření;
- provedení analýzy pro klimatická data dostupná pro další oblasti v České republice.

Další možnosti výzkumu pak lze spatřovat zejména v oblasti simulací a hodnocení denního osvětlení na základě klimatických dat. Je možné zaměřit se například na diferenciaci požadavků na cílové a minimální cílové osvětlenosti na základě průměrné doby využití vnitřních prostorů dle jejich typu (např. obytná místnost, kancelář, škola, školka). V současnosti takovéto rozlišení požadavků na cílové a minimální cílové osvětlenosti norma ČSN EN 17037 [24] neobsahuje.

10 REFERENCE

10.1 PRÁVNÍ PŘEDPISY, NORMY A METODIKY

- [1] APP 130. *Lighting and Ventilation Requirements – Performance-Based Approach*. Hong Kong: Buildings Department – The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2016.
- [2] BRE. *BREEAM UK New Construction 2018: Technical manual version SD5078 – Issue: 3.0*. BRE Global, 2019, 392 s.
- [3] BS 8206-2. *Lighting for Buildings – Part 2: Code of Practice for Daylighting*. London: British Standards Institution, 2008.
- [4] CIE. *Official recommendation CIE-E 3.2 Natural daylight*. Proc. CIE Zürich, II, 3.1., 1955.
- [5] CIE 15. *Technical Report: Colorimetry*. Commission Internationale de l'Éclairage, 2014, 72 s., 3. vydání.
- [6] CIE 171: 2006. *Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs*. Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage, 2006.
- [7] ČSN 73 0580-1. *Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [8] ČSN 73 0580-1. *Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [9] ČSN 73 0580-2. *Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov*. Praha: Vydavatelství norem, 1992. Ve znění z října 1992.
- [10] ČSN 73 0580-2. *Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov*. Praha: Český normalizační institut, 2007. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [11] ČSN 73 0580-2. *Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov*. Praha: Český normalizační institut, 2007. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [12] ČSN 73 0580-3. *Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [13] ČSN 73 0580-3. *Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [14] ČSN 73 0580-4. *Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [15] ČSN 73 0580-4. *Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [16] ČSN 36 0011-1. *Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [17] ČSN 36 0011-1. *Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Ve znění platném od 1. 9. 2019.

- [18] ČSN 36 0011-2. *Měření osvětlení prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [19] ČSN 36 0011-2. *Měření osvětlení prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Ve znění platném od 1. 9. 2019
- [20] ČSN 36 0020. *Sdružené osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [21] ČSN 73 4301. *Obytné budovy*. Praha: Český normalizační institut, 2004. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [22] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2012.
- [23] ČSN EN 17037. *Denní osvětlení budov*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019. Ve znění platném do 31. 8. 2019.
- [24] ČSN EN 17037. *Denní osvětlení budov*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [25] Danish Building Regulations 2015 (BR15).
- [26] Danish Building Regulations 2018 (BR18)
- [27] EN 17037. *Daylight in Buildings*. Brussels: Comité Européen de Normalisation, 2018.
- [28] IES LM-83-12. *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. Brussels: Illuminating Engineering Society of North America, New York, 2013.
- [29] ISO 15469: 2004 / CIE S011 / E:2003. *Spatial Distribution of Daylighting – CIE Standard General Sky*. Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, 2004
- [30] Nařízení č. 10/2016 Sb. hlavního města Prahy, kterým se stanovují obecné požadavky na využívání území a technické požadavky na stavby v hlavním městě Praze (pražské stavební předpisy) ve znění nařízení č. 14/2018 Sb. hlavního města Prahy.
- [31] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.
- [32] STN 73 0580-1. *Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky*. Praha: Vydavateľství ÚNM, 1986. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.
- [33] STN 73 0580-2. *Denné osvetlenie budov. Časť 2: Denné osvetlenie budov na bývanie*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2000. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.
- [34] U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. *LEED v4.1 interior design and construction*. USGBC, 2019, 161 s,
- [35] Vyhláška č. 268/2009 Sb. ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.
- [36] Vyhláška č. 501/2006 Sb. ze dne 10. listopadu 2006 o obecných požadavcích na využívání území. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.

- [37] Vyhláška č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.
- [38] WMO. *Commission for Instruments and Methods of Observation*. Abridged Final Report of the 8th Session, Mexico. Publ. No. 590. Geneva: World Meteorological Organization, 1982.

10.2 ODBORNÉ PUBLIKACE

- [39] ACOSTA, Ignacio, Carmen MUÑOZ, Paula ESQUIVIAS, David MORENO a Jaime NAVARRO. Analysis of the accuracy of the sky component calculation in daylighting simulation programs. *Solar Energy*. 2015, **119**, 54-67. DOI: 10.1016/j.solener.2015.06.022. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X15003308>
- [40] AIZLEWOOD, M. E. The daylighting of atria: A critical review. In: *Technical and symposium papers. Volume 101, Part 2*. San Diego: ASHRAE Transactions, 1995, s. 841-857. ISSN 0001-2505.
- [41] Analysis of Test Case 5.14 CIE 171:2006. In: *Lighting Analysts – Illumination Engineering Software* [online]. West Vancouver: byHeart Consultants Limited, 2009, 24. 3. 2009 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.agi32.com/Downloads/TechnicalDocs/Analysis%20of%20CIE%20171%20Test%20Case%205%2014.pdf>
- [42] ASHDOWN, Ian. CIE 171:2006 – Errata: Getting It Right. In: *Lighting Analysts: illumination engineering software: All Things Lighting* [online]. Colorado: Lighting Analysts Inc., 2016, 5. 7. 2016 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://lightinganalysts.com/cie-1712006-errata/>
- [43] BELLIA, Laura, Alessia PEDACE a Francesca FRAGLIASSO. The impact of the software's choice on dynamic daylight simulations' results: A comparison between Daysim and 3ds Max Design®. *Solar Energy*. 2015, **122**, 249-263. DOI: 10.1016/j.solener.2015.08.027. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X15004636>
- [44] BINKO, Jaroslav a Ivan KAŠPAR. *Fyzika stavebního inženýra: Vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 664 s.
- [45] BODART, Magali a Arnaud DENEYER. A guide for the building of daylight scale models. In *PLEA2006*. Geneva: 2006.
- [46] BOUBEKRI, Mohamed. *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*. Amsterdam: Architectural, 2008, 144 s. ISBN 978-075-0667-241.
- [47] BOURGEOIS, D., C. F. REINHART a G. WARD. Standard daylight coefficient model for dynamic daylighting simulations. *Building Research & Information*. 2008, **36**(1), 68-82. DOI: 10.1080/09613210701446325. ISSN 0961-3218. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210701446325>
- [48] BOYCE, Peter. *Human Factors in Lighting*. Second edition. London: Taylor & Francis, 2003, 584 s. ISBN 0203426347.
- [49] BOYCE, Peter, Claudia HUNTER a Owen HOWLETT. *The Benefits of Daylight through Windows*. New York: Lighting Research Center, 2003, 88 s.

- [50] DANISH BUILDING RESEARCH INSTITUTE. *SBI 2013:26 – Daylight calculations in practice: An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms*. Copenhagen: Danish Building Research Institute, Aalborg University, 2013. ISBN 978-879-2739-490.
- [51] DARULA, Stanislav. *Daylighting in the exterior and interior*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2011, 112 s. ISBN 978-80-227-3553-7.
- [52] DARULA, Stanislav, Richard KITTLER, Miroslav KOCIFAJ, Jiří PLCH, Jitka MOHELNÍKOVÁ a František VAJKAY. *Osvětlování světlovody*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2009, 160 s. ISBN 978-80-247-2459-1.
- [53] DAVIES, J.A. a D.C. MCKAY. Evaluation of selected models for estimating solar radiation on horizontal surfaces. *Solar Energy*. 1989, **43**(3), 153-168. DOI: 10.1016/0038-092X(89)90027-3. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0038092X89900273>
- [54] DU, Jiangtao a Steve SHARPLES. Assessing and predicting average daylight factors of adjoining spaces in atrium buildings under overcast sky. *Building and Environment*. 2011, **46**(11), 2142-2152. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.04.020. ISSN 03601323. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311001223>
- [55] DU, J. a S. SHARPLES. The assessment of vertical daylight factors across the walls of atrium buildings: Part 1: Square atria. *Lighting Research & Technology*. 2012, **44**(2), 109-123. DOI: 10.1177/1477153511412530. ISSN 1477-1535. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153511412530>
- [56] DU, Jiangtao a Steve SHARPLES. The variation of daylight levels across atrium walls: Reflectance distribution and well geometry effects under overcast sky conditions. *Solar Energy*. 2011, **85**(9), 2085-2100. DOI: 10.1016/j.solener.2011.05.015. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X11001952>
- [57] FICKER, Tomáš. *Handbook of building thermal technology, acoustics and daylighting: Příručka stavební tepelné techniky, akustiky a denního osvětlení*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 266 s. ISBN 80-214-2670-5.
- [58] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (1). *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2009, **12**(1), 40-41. ISSN 1212-0812.
- [59] HABEL, Jiří. Základy světelné techniky (3). *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2008, **11**(4), 40-41. ISSN 1212-0812.
- [60] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [61] HALAHYJA, Martin, Bohumír BEŤKO, Karel BLOUDEK, Július PUŠKÁŠ a Peter TOMAŠOVIČ. *Stavebná tepelná technika, osvetlenie a akustika*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1970, 752 s.
- [62] HALLIDAY, David, Jearl WALKER a Robert RESNICK. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2000, 1198 s, ISBN 80-214-1868-0.
- [63] HARTMAN, Peter. *Denné osvetlenie budov bázované na chronobiológii a cirkadiánnej fotometrii*. Bratislava, 2016. Dizertační práce. Slovenská technická univerzita v Bratislave,

Stavebná fakulta, Katedra konštrukcií pozemných stavieb. Vedoucí práce Prof. Ing. Jozef Hraška, PhD.

- [64] HOPKINSON, R. G. P. PETHERBRIDGE aj. LONGMORE. *Daylighting*. London: Heinemann, 1966, 606 s.
- [65] HORŇÁK, Pavol. *Svetelná technika*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 247 s. ISBN 80-05-00122-3.
- [66] HRAŠKA, Jozef. *Slnko a denné svetlo v urbanize a architektúre: Prax vo vybraných krajinách sveta – prehľad predpisov a spôsobov ich uplatňovania*. Bratislava: Inštitút urbánneho rozvoja, 2011, 40 s.
- [67] CHMÚRNY, Ivan, Peter TOMAŠOVIČ a Jozef HRAŠKA. *Fyzika vnútorného prostredia budov*. Bratislava: STU, 2013, 394 s. ISBN 978-80-277-3917-7.
- [68] ILLNEROVÁ, Helena a Alena SUMOVÁ. Vnitřní časový systém. *Interní medicína pro praxi*. Olomouc: Solen, 2008, **10**(7), 350-352. ISSN 1803-5256.
- [69] KAŇKA, Jan. Denní osvětlení obytných místností. *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2010, **13**(1), 30-33. ISSN 1212-0812.
- [70] KAŇKA, Jan. Denní osvětlení velkých obytných místností. *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2017, **20**(3), 37-38. ISSN 1212-0812
- [71] KAŇKA, Jan. *DEO I – Vybrané stati ze stavební světelné techniky*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2014, 85 s. ISBN 978-80-01-05468-0.
- [72] KAŇKA, Jan. Návrh limitní hodnoty osvětlenosti roviny okna pro obytné místnosti. *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2001, **4**(1), 34-35. ISSN 1212-0812.
- [73] KAŇKA, Jan. Osvětlenost roviny zasklení okna jako kritérium práva uživatelů místnosti na denní světlo. *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2000, **3**(3), 33-35. ISSN 1212-0812.
- [74] KAŇKA, Jan. Poznámka k přesnosti měření činitele denní osvětlenosti. *TZB-info*. Praha: Topinfo, 2010, **17**(11). ISSN 1801-4399. Dostupné také z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/6309-poznamka-k-presnosti-mereni-cinitele-denni-osvetlenosti>
- [75] KAŇKA, Jan. Vliv barvy průčelí stavebních objektů na denní osvětlení. *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 1999, **3**(1), 3-5. ISSN 1212-0812.
- [76] KAŇKA, Jan. Význam činitelů při výpočtech ve stavební světelné technice. *Světlo: Odborný časopis pro světelnou techniku*. Praha: FCC Public, 2008, **11**(3), 40-42. ISSN 1212-0812.
- [77] KITTLER, Richard a Lýdia KITTLEROVÁ. *Návrh a hodnotenie denného osvetlenia*. 2., preprac. vyd. Bratislava: Alfa, 1975, 248 s.
- [78] KLVÁČ, Petr. Změna v hodnocení vnějšího zastínění denního osvětlení – ČSN 730580 – 1/1.7.2007. In: *Národní konference s mezinárodní účastí Výstava světelné techniky*. 1. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 107-110. ISBN 978-80-248-1579-4.
- [79] KŘIVÁNEK, Jaroslav. *Počítačová grafika III – Photon mapping* [pdf]. Praha: Univerzita Karlova, 2013 [cit. 2014-09-14]. Dostupné z: <http://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/teaching/2013-npgr010/slides/09%20-%20npgr010-2013%20-%20PM.pdf>

- [80] LABAYRADE, R., M. FONTOYNONT, C. MOURET, P. AVOUAC a MC. JEAN. *Assessment of VELUX Daylight Visualizer 2 Against CIE 171:2006 Test Cases: Test Cases Test Cases 5.4 – 5.5 – 5.6 – 5.7 – 5.9 – 5.10 – 5.11 – 5.12 – 5.13 – 5.14* [online]. Vaulx-en-Velin: ENTPE, 2009 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://velcdn.azureedge.net/~/media/com/daylightvisualizercievalidationreportpdf.pdf>
- [81] LAMBERT, Johann Heinrich. *Photometria sive de mensura et gradibus luminis colorum et umbra*. Publ. Klett, Augsburg, 1760 (německý překlad: E. Auding, Leipzig, 1892)
- [82] LARSON, Greg Ward a Rob SHAKESPEARE. *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization*. 2nd ed. California: Davis, 2003, 664 s. ISBN 0-9745381-0-8
- [83] LI, Danny H.W., Gary H.W. CHEUNG, K.L. CHEUNG a Joseph C. LAM. Evaluation of a Simple Method for Determining the Vertical Daylight Factor against Full-Scale Measured Data. *Indoor and Built Environment*. 2009, **18**(6), 477-484. DOI: 10.1177/1420326X09337042. ISSN 1420-326X. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1420326X09337042>
- [84] LI, Danny H.W., Gary H.W. CHEUNG, K.L. CHEUNG a Joseph C. LAM. Simple method for determining daylight illuminance in a heavily obstructed environment. *Building and Environment*. 2009, **44**(5), 1074-1080. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.07.011. ISSN 03601323. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308001893>
- [85] LITTLEFAIR, P. J. *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice*. Watford: Building Research Establishment, 1991, 89 s. ISBN 085125506X.
- [86] LITTLEFAIR, Paul. Daylight prediction in atrium buildings. *Solar Energy*. 2002, **73**(2), 105-109. DOI: 10.1016/S0038-092X(02)00038-5. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X02000385>
- [87] LITTLEFAIR, Paul. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. *Solar Energy*. 2001, **70**(3), 177-185. DOI: 10.1016/S0038-092X(00)00099-2. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X00000992>
- [88] LUKAŠÍK, Leopold, Miroslav POLEHRADSKÝ, Václav BOŽEK a Karel ČUPR. *Stavební tepelná technika, akustika a denní osvětlení budov: akustika a denní osvětlení v pozemním stavitelství*. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 202 s.
- [89] MAAMARI, Fawaz. *La simulation numérique de l'éclairage, limites et potentialités*. Lyon, 2004. Dizertační práce. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Vedoucí práce prof. Marc Fontoynt
- [90] MAAMARI, F. a M. FONTOYNONT. Analytical tests for investigating the accuracy of lighting programs. *Lighting Research & Technology*. 2016, **35**(3), 225-239. DOI: 10.1191/1365782803li069oa. ISSN 1477-1535. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/1365782803li069oa>
- [91] MAAMARI, F., M. FONTOYNONT, A. TSANGRASSOULIS, C. MARTY, E. KOPYLOV a G. SYTNIK. Reliable datasets for lighting programs validation—benchmark results. *Solar Energy*. 2005, **79**(2), 213-215. DOI: 10.1016/j.solener.2004.12.003. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X05000174>

- [92] MANGKUTO, Rizki A. Validation of DIALux 4.12 and DIALux evo 4.1 against the Analytical Test Cases of CIE 171: 2006. *LEUKOS*. 2016, **12**(3), 139-150. DOI: 10.1080/15502724.2015.1061438. ISSN 1550-2724.
- [93] MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. *Lighting Research and Technology*. 2000, **32**(3), 111-118. DOI: 10.1177/096032710003200302. ISSN 1477-1535. Dostupné také z: <http://lrt.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/096032710003200302>
- [94] MARDALJEVIC, J. Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. *Lighting Research and Technology*. 1995, **27**(4), 181-188. DOI: 10.1177/14771535950270040701. ISSN 1477-1535. Dostupné také z: <http://lrt.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/14771535950270040701>
- [95] MARDALJEVIC, J. Verification of program accuracy for illuminance modelling: Assumptions, methodology and an examination of conflicting findings. *Lighting Research & Technology*. 2016, **36**(3), 217-239. DOI: 10.1191/1477153504li120oa. ISSN 1477-1535. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/1477153504li120oa>
- [96] MITILAS GP, ARSENEAULT JG. *Fortran IV program to calculate absorption and transmission of thermal radiation by single and double glazed windows*. Ottawa: N.R. Council, 1968.
- [97] MOON, Parry a Domina Eberle SPENCER. Illumination from a non-uniform sky. In *Illuminating Engineering*, Vol. 37 (10), 1942, s. 707 – 726.
- [98] NABIL, A. a J. MARDALJEVIC. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Lighting Research and Technology*. 2005, **37**(1), 41-57. DOI: 10.1191/1365782805li128oa. ISSN 1477-1535. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/1365782805li128oa>
- [99] O'CONNOR, Jennifer, Eleanor LEE, Francis RUBINSTEIN a Stephen SELKOWITZ. *Tips for daylighting with windows: The integrated approach*. California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1997.
- [100] OSBORNE, Jake. *Building a comprehensive dataset for the validation of daylight simulation software, using complex "real architecture"*. Wellington, 2012. Diplomová práce. Victoria University of Wellington, School of Architecture and Design. Vedoucí práce Michael Donn
- [101] PEREZ, R., R. SEALS aj. MICHALSKY. All-weather model for sky luminance distribution—Preliminary configuration and validation. *Solar Energy*. 1993, **50**(3), 235-245. DOI: 10.1016/0038-092X(93)90017-I. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0038092X9390017I>
- [102] PLCH, Jiří, Jitka MOHELNÍKOVÁ a Petr SUCHÁNEK. *Osvětlení neosvětlitelných prostor*. 1. vyd. Brno: ERA group, 2004, 130 s. ISBN 80-86517-82-9.
- [103] REINHART, Christoph F. *Daylighting Handbook I: Fundamentals Design with the Sun*. 1. vyd. USA: Building Technology Press, 2014, 199 s. ISBN 978-0-692203-63-7.
- [104] REINHART, Christoph F. *Daylighting Handbook II: Daylight Simulations, Dynamic Facades*. 1. vyd. USA: Building Technology Press, 2018, 249 s. ISBN 978-0-578-40709-8.
- [105] REINHART, Christoph F. *Daylight Availability and Manual Lighting Control in Office Building – Simulation Studies and Analysis of Measurements*. Karlsruhe, 2001. Dizertační

práce. University of Karlsruhe, Faculty of Architecture. Senior Supervisor: Prof. Andreas Wagner.

- [106] REINHART, Christoph F. Daylight performance predictions. HENSEN, Jan a Roberto LAMBERTS. *Building performance simulation for design and operation*. New York: Spon Press, 2011, s. 235-276. ISBN 9780203891612.
- [107] REINHART, Christoph. *Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design*. Cambridge: Harvard University, 2010, 114 s.
- [108] REINHART, Christoph F. a Annegret FITZ. Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. *Energy and Buildings*. 2006, vol. 38, issue 7, s. 824-835. ISSN 0378-7788.
- [109] REINHART, Christoph F. a Marilyn ANDERSEN. Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. *Energy and Buildings*. 2006, **38**(7), 890-904. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.03.006. ISSN 03787788. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778806000703>
- [110] REINHART, Christoph F. a Oliver WALKENHORST. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*. 2001, **33**(7), 683-697. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00058-5. ISSN 03787788. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778801000585>
- [111] REINHART, Christoph F. a Pierre-Felix BRETON. Experimental Validation of Autodesk® 3ds Max® Design 2009 and Daysim 3.0. *LEUKOS*. 2009, **6**(1), 7 – 35. ISSN 1550-2724.
- [112] REINHART, Christoph F. a Sebastian HERKEL. The simulation of annual daylight illuminance distributions — a state-of-the-art comparison of six RADIANCE-based methods. *Energy and Buildings*. 2000, **32**(2), 167-187. DOI: 10.1016/S0378-7788(00)00042-6. ISSN 03787788. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778800000426>
- [113] REINHART, Christoph F., J. Alstan JAKUBINEC a Diego IBARRA. Definition of a reference office for standardized evaluations of dynamic façade and lighting technologies. In: *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*. Vol. 13. Chambéry: IBPSA, 2013, s. 3645-3652. ISSN 2522-2708.
- [114] REINHART, Christoph F., John MARDALJEVIC a Zack ROGERS. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS*. 2006, **3**(1), 7-31. DOI: 10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001. ISSN 1550-2724. Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1582/LEUKOS.2006.03.01.001>
- [115] RYBÁR, Peter, František ŠESTÁK, Marie JUKLOVÁ, Jozef HRAŠKA a Jiří VAVERKA. *Denní osvětlení a oslunění budov*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, vi, 271 s. ISBN 80-865-1733-0.
- [116] SLEZÁK, Jan. Měření denního osvětlení. *TZB-info*. Praha: Topinfo, 2012, **14**(16). ISSN 1801-4399. Dostupné také z: <https://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/8491-mereni-denniho-osvetleni>
- [117] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK et al. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [118] TREGENZA, P.R. a I.M. WATERS. *Daylight coefficients*. 2016, **15**(2), 65-71. DOI: 10.1177/096032718301500201. ISSN 0024-3426. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/096032718301500201>

- [119] TREGENZA, Peter a Michael WILSON. *Daylighting: Architecture and Lighting Design*. New York: Routledge, 2011, 290 s. ISBN 978-041-9257-004.
- [120] TREGENZA, Peter. Daylighting Algorithms. *ETSU S 1350*. UK Department of Trade and Industry on behalf of the Energy Technology Support Unit, 1993.
- [121] VAJKAY, František. *Optimisation of light conditions in buildings*. Brno, 2012. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Jitka Mohelníková, PhD.
- [122] *Validation of AGI32 against CIE 171:2006* [online]. Calgary: Dau Design and Consulting, 2007 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: http://www.dau.ca/ddci/files/Download/ReportonAGI32validationofCIE171_Compiled_070620.pdf
- [123] *Validation of NVIDIA® IRAY® against CIE 171:2006* [online]. Calgary: Dau Design and Consulting, 2016 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: https://developer.nvidia.com/sites/default/files/akamai/designworks/docs/Validation%20of%20NVIDIA's%20Iray%20against%20CIE%20171_20160217.pdf
- [124] VYBÍRAL, Bohumil. *Zpracování dat fyzikálních měření: Studijní text pro řešitele FO, studující fyziku na UHK a ostatní zájemce o fyziku*. [online] Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/mereni.pdf> [cit. 8. 6. 2016]

10.3 CITOVANÉ ČLÁNKY AUTORKY DIZERTAČNÍ PRÁCE

- [125] GÁBROVÁ, Lenka. Comparison between Dynamic and Static Metrics for Daylight Evaluation in the Case of Obstructed Buildings. In *Buildings and Environment - Energy Performance, Smart Materials and Buildings. Applied Mechanics and Materials*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2016, **861**, 477-484. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.861.477. ISBN 9783035710700. ISSN 1662-7482. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMM.861.477>
- [126] GÁBROVÁ, Lenka. Effect of Light Reflectance of External Surfaces on Daylight Factor. In: *enviBUILD 2014. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2014, **1041**, 399-402. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.399. ISBN 978-3-03835-280-8. ISSN 1662-8985. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMR.1041.399>
- [127] GÁBROVÁ, Lenka. Porovnání českých a zahraničních požadavků na denní osvětlení stávajících budov stíněných novými objekty. In *Juniorstav 2016*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2016, s. 1-8. ISBN 978-80-214-5311-1.
- [128] GÁBROVÁ, Lenka. Porovnání vlivu stínících překážek na denní osvětlení. In *STRUCTURA stavební trendy 2013*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2013. s. 62-67. ISBN 978-80-248-3235-7.
- [129] GÁBROVÁ, Lenka. Rozdíly v tradičním a novém přístupu k hodnocení denního osvětlení budov. *TZB-info*. Praha: Topinfo, 2017, **19**(50). ISSN 1801-4399. Dostupné také z: <https://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/16687-rozdily-v-tradicnim-a-novem-pristupu-k-hodnoceni-denniho-osvetleni-budov>
- [130] GÁBROVÁ, Lenka, Michaela HLÁSKOVÁ a František VAJKAY. Comparative Evaluation of Daylighting Simulation Programs. In *Energy Saving and Environmentally Friendly Technologies - Concepts of Sustainable Building. Applied Mechanics and Materials*.

Switzerland: Trans Tech Publications, 2016, **824**, 732-739. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.824.732. ISBN 978-3-03835-709-4. ISSN 1662-7482. Dostupné také z: <https://www.scientific.net/AMM.824.732>

- [131] VAJKAY, František., Michaela HLÁSKOVÁ a Lenka GÁBROVÁ. Appropriateness of test cases included in the CIE 171/2006 Test report. In *ATF 2014 e-book of reviewed papers*. Vienna: TGM – Federal Institute of Technology, 2014, s. 228-231. ISBN 978-3-200-03644- 4.

10.4 DALŠÍ ZDROJE

- [132] AHLBORN GMBH. *Hersteller-Prüfchein – Manufacturer Test-Certificate: Senosortyp: FLA 623 VL*. Německo: Ahlborn GmbH, 2013, 2014, 4s.
- [133] GOSSSEN FOTO- UND LICHTMESSTECHNIK GMBH. *Gossen Mavo-Spot 2*. Německo: Gossen Foto- und Lichtmesstechnik GmbH, 32 s.
- [134] Termlist. COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. *E-ILV CIE* [online]. Vienna: Commission internationale de l'éclairage, 2014 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://eilv.cie.co.at/>
- [135] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2018-12-01]. <https://mapy.cz/s/2Bpum>
- [136] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2018-12-01]. <https://mapy.cz/s/jahatezepo>
- [137] KONICA MINOLTA. *Spectrophotometer CM-5: Instruction Manual*. Japonsko: Konica Minolta, 2016, 174 s.
- [138] KONICA MINOLTA. *Luminance Meter LS-100, LS-110: Instruction Manual*. Japonsko: Konica Minolta, 2013, 32 s.
- [139] WORKSWELL S.R.O. *Pocket Detective Fixed*. Praha: Workswell, 4 s.

10.5 POČÍTAČOVÉ PROGRAMY

- [140] GOOGLE INC. *Google SketchUp 6.4.247*. USA, 2007.
- [141] GRADUATE SCHOOL OF DESIGN – HARVARD UNIVERSITY, CAMBRIDGE. *Daysim 3.1b*. USA, 2010. Dostupné z: <https://daysim.ning.com/>.
- [142] KJENNER, Josh. *SU2DS: SketchUp To Daysim Exporter*. Kanada: Manasc Isaac. Dostupné z: <https://code.google.com/archive/p/su2ds/>
- [143] Microsoft. *Microsoft Excel 2013*. USA, 2013.
- [144] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *EnergyPlus*. USA. Dostupné z: <https://energyplus.net/weather>

11 SEZNAMY SYMBOLŮ, ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

označení	jednotka	popis
A	[m ²]	plocha
A_z	[rad; °]	azimut
d	[m]	delší rozměr počítané oblasti, pokud je podíl delší strany ke kratší větší nebo roven 2, je d kratším rozměrem plochy (stanovení rozteče kontrolních bodů dle [24] čl. 5.1.2 a B.2)
$D65(\lambda)$	[-]	poměrné spektrální složení světelného zdroje D65 dle CIE 15: 2004 [5]
dA	[m ²]	elementární plocha
DA	[%]	autonomie denního osvětlení (daylight autonomy)
DC_{γ, A_z}	[-]	koeficient denního světla v hodnoceném bodě i pro elementární část oblohy v úhlové výšce γ nad horizontem při azimutu A_z
$DC_{j,i}$	[-]	koeficient denního světla v hodnoceném bodě i pro j -tou elementární část oblohy
$dE_{\gamma, A_z, i}$	[lx]	osvětlenost bodu i vyvolaná elementární částí oblohy s jasem L_{γ, A_z}
D_i	[%]	činitel denní osvětlenosti v kontrolním bodě i
$D_{i, ref}$	[%]	referenční hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená v bodě i
$D_{i, ref, j}$	[%]	referenční hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená v bodě i pro j -té měření
$D_{i, SW}$	[%]	hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená výpočtem v programu Daysim v bodě i
$D_{i, SW, j}$	[%]	hodnota činitele denní osvětlenosti stanovená výpočtem ve světelně simulačním programu v bodě i pro j -té měření
dI_{cos}	[cd]	svítivost elementární plochy dA Lambertova (kosinového) zářiče v daném bodě povrchu zdroje
dI_N	[cd]	svítivost ve směru normály elementární plochy dA v daném bodě povrchu zdroje
dI_{ψ}	[cd]	elementární svítivost elementární plochy dA povrchu plošného zdroje světla v daném bodě nebo elementární svítivost bodového zdroje vymezená úhlem ψ
D_m	[%]	požadovaná průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti dle částí 1, 3, 4 normy ČSN 73 0580 [7], [12], [14]
D_{min}	[%]	minimální požadovaná hodnota činitele denní osvětlenosti dle částí 1, 3, 4 normy ČSN 73 0580 [7], [12], [14]
dQ_e	[J]	elementární množství zářivé energie
D_T	[%]	cílová hodnota činitele denní osvětlenosti pro hodnocení příspěvku denního světla dle normy ČSN EN 17037 [24]
D_{TM}	[%]	minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti pro hodnocení příspěvku denního světla dle normy ČSN EN 17037 [24]
d_v	[m]	vzdálenost vertikální překážky dle obr. 7.1.1
D_w	[%]	činitel denní osvětlenosti roviny zasklení okna z vnější strany

označení	jednotka	popis
$D_{w, ref}$	[%]	hodnota činitele denní osvětlenosti D_w stanovená pro referenční model zastínění při daném úhlu stínění nebo indexu WI
$D_{w,k}$	[%]	hodnota činitele denní osvětlenosti D_w stanovená pro porovnávaný model zastínění při daném úhlu stínění ε nebo indexu WI
$D_{w,V}$	[%]	činitel denní osvětlenosti na venkovní vertikální rovině zastíněné průběžnou stínící překážkou při úhlu stínění ε pro oblohu CIE 16
D_{wp}	[%]	vnější odražená složka od překážek u činitele denní osvětlenosti roviny zasklení okna z vnější strany
$D_{wp,V}$	[%]	odražená složka činitele denní osvětlenosti na venkovní vertikální rovině od průběžné stínící překážky s činitelem jasu $k_m = 0,1$ při úhlu stínění ε pro oblohu CIE 16
D_{ws}	[%]	oblohová složka činitele denní osvětlenosti roviny zasklení okna z vnější strany
$D_{ws,V}$	[%]	oblohová složka činitele denní osvětlenosti na venkovní nezastíněné vertikální rovině pro oblohu CIE 16
D_{wt}	[%]	vnější odražená složka od terénu u činitele denní osvětlenosti roviny zasklení okna z vnější strany
$D_{wt,V}$	[%]	odražená složka činitele denní osvětlenosti na venkovní vertikální rovině od terénu s činitelem jasu $k_m = 0,1$ pro oblohu CIE 16
$d\Phi$	[lm]	elementární světelný tok
$d\Omega$	[sr]	elementární část prostorového úhlu
$d\Omega_{v,AZ}$	[sr]	prostorový úhel, který vymezuje elementární část oblohy s jasem $L_{v,AZ}$
E	[lx]	osvětlenost
E_H	[lx]	osvětlenost nezastíněné horizontální venkovní roviny
E_{Hs}	[lx]	oblohová osvětlenost denním světlem venkovní nezastíněné horizontální roviny pro oblohu CIE 16
E_i	[lx]	osvětlenost denním světlem v kontrolním bodě i dané roviny
E_T	[lx]	cílová hodnota osvětlenosti pro hodnocení příspěvku denního světla dle normy ČSN EN 17037 [24]
E_{TM}	[lx]	minimální cílová hodnota osvětlenosti pro hodnocení příspěvku denního světla dle normy ČSN EN 17037 [24]
$E_{v,d,med}$	[lx]	medián oblohové vodorovné osvětlenosti, hodnoty pro jednotlivé členské země CEN dle tabulky A.3 v normě ČSN EN 17037 [24]
E_{Vs}	[lx]	oblohová složka osvětlenosti denním světlem venkovní nezastíněné vertikální roviny pro oblohu CIE 16
f	[Hz]	frekvence
F_{plane}	[%]	část srovnávací roviny pro hodnocení cílové nebo minimální cílové osvětlenosti
F_{point}	[%]	procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo osvětlenosti po stanovenou část doby s denním světlem ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24]
$F_{point, k}$	[%]	porovnávané kritérium F_{point}
$F_{point, ref}$	[%]	referenční kritérium F_{point}

označení	jednotka	popis
$F_{point, 0,7 \%}$	[%]	procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je dosaženo činitele denní osvětlenosti alespoň 0,7 %
$F_{point, 100 \text{ lx}, 50 \%}$	[%]	procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem
$F_{point, 2,0 \%}$	[%]	procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je dosaženo činitele denní osvětlenosti alespoň 2,0 %
$F_{point, 300 \text{ lx}, 50 \%}$	[%]	procentuální podíl kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je dosaženo osvětlenosti alespoň 300 lx minimálně po 50 % doby s denním světlem
F_{time}	[%]	podíl doby s denním světlem, po kterou je dosaženo alespoň dané hodnoty osvětlenosti
$F_{time, E, i}$	[%]	podíl doby s denním světlem, kdy je v kontrolním bodě i dosaženo dané osvětlenosti E
$F_{time, 100 \text{ lx}, i}$	[%]	podíl doby s denním světlem, kdy je v kontrolním bodě i dosaženo osvětlenosti denním světlem alespoň 100 lx
$F_{time, 300 \text{ lx}, i}$	[%]	podíl doby s denním světlem, kdy je v kontrolním bodě i dosaženo osvětlenosti denním světlem alespoň 300 lx
g	[-]	označení prvku souboru hodnot
γ	[rad; °]	úhlová výška nad horizontem
h_a	[m]	výška atria dle obr. 7.1.3
h_v	[m]	výška vertikální překážky dle obr. 7.1.1
I	[cd]	svítivost
i	[-]	označení prvku souboru hodnot
I_N	[cd]	svítivost bodového zdroje ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla
j	[-]	označení prvku souboru hodnot
$K(\lambda)$	[lm·W ⁻¹]	spektrální světelná účinnost záření o vlnové délce λ
k_γ	[-]	činitele jasů stínící překážky v místě v úhlové výšce γ nad horizontem
K_m	[lm·W ⁻¹]	maximální hodnota spektrální světelné účinnosti záření
k_m	[-]	činitele jasů stínící překážky vztažený k průměrnému jasů oblohy
L	[cd·m ⁻²]	jas ve směru pozorování v daném bodě povrchu plošného zdroje
$L_{15,i}$	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v elevačním úhlu $\gamma = 15^\circ$ pro rovinu i , kde $i = \{I; II; III\}$
$L_{45,i}$	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v elevačním úhlu $\gamma = 45^\circ$ pro rovinu i , kde $i = \{I; II; III\}$
L_{90}	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v zenitu
l_a	[m]	délka vnitřní strany atria dle obr. 7.1.3
L_b	[cd·m ⁻²]	jas hodnoceného povrchu (měření in-situ)
L_{cos}	[cd·m ⁻²]	jas povrchu Lambertova (kosinového) zářiče
L_E	[cd·m ⁻²]	jas povrchu etalonu stanovený ve stejném místě jako jas hodnoceného povrchu
L_γ	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v úhlové výšce γ nad horizontem
L_{γ, A_Z}	[cd·m ⁻²]	jas elementární části oblohy vymezené úhlovou výškou γ nad horizontem a azimutem A_z

označení	jednotka	popis
$L_{\gamma,i}$	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v elevačním úhlu γ pro rovinu i , kde $i = \{I, II, III\}$
l_h	[m]	délka horizontální překážky
L_j	[cd·m ⁻²]	jas j -té elementární části oblohy
L_m	[cd·m ⁻²]	průměrný jas rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16
L_O	[cd·m ⁻²]	jas pozadí osvětlovacího otvoru (např. obloha, fasáda) při otevřeném okně
$L_{p,\gamma}$	[cd·m ⁻²]	průměrný jas oblohy v elevačním úhlu γ stanovený z jasů oblohy změřených ve všech hodnocených rovinách i
$L_{p,i}$	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v elevačním úhlu γ pro rovinu i , kde $i = \{I, II, III\}$
l_w	[m]	vzdálenost od okenní stěny
$l_{w, 0,7\%}$	[m]	maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo minimální cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti 0,7 %
$l_{w, 100\text{ lx}, 50\%}$	[m]	maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 100 lx pro podíl doby s denním světlem alespoň 50 %
$l_{w, 2,0\%}$	[m]	maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo cílové hodnoty činitele denní osvětlenosti 2,0 %
$l_{w, 300\text{ lx}, 50\%}$	[m]	maximální vzdálenost od okenní stěny, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 300 lx pro podíl doby s denním světlem alespoň 50 %
L_z	[cd·m ⁻²]	jas oblohy v zenitu
L_Z	[cd·m ⁻²]	jas pozadí osvětlovacího otvoru (např. obloha, fasáda) při zavřeném okně
n	[ks]	celkový počet prvků souboru hodnot
$n_{IOR, 1}, n_{IOR, 2}, n_{IOR, 3}$	[-]	index lomu prostředí (IOR – index of refraction – index lomu)
N_{point}	[ks]	celkový počet kontrolních bodů uvnitř místnosti, ve kterých je splněna cílová nebo minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti nebo osvětlenosti po stanovenou část doby s denním světlem ve smyslu normy ČSN EN 17037 [24]
n_{point}	[ks]	celkový počet kontrolních bodů uvnitř místnosti
N_χ	[-]	označení normály k ploše χ
p	[m]	maximální rozměr sítě buňky, přičemž $p \leq 10$ m (stanovení rozteče kontrolních bodů dle [24] čl. 5.1.2 a B.2)
q	[-]	činitel jasu rovnoměrně zatažené oblohy CIE 16
r	[m]	vzdálenost
R	[m]	poloměr fiktivní hemisféry
$rMBE$	[%]	relativní střední chyba (relative Mean Bias Error)
$rRMSE$	[%]	relativní směrodatná chyba (relative Root Mean Square Error)
sDA	[%]	prostorová autonomie denního osvětlení (spatial daylight autonomy)
S_{ρ_a}	[-]	výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru činitele odrazu světla měřeného povrchu (pro měření na modelu)

označení	jednotka	popis
S_{ρ_b}	[-]	výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru činitele odrazu světla povrchu (pro měření in-situ)
$S_{\tau_{s,z}}$	[-]	výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru činitele prostupu světla $\tau_{s,z}$
t	[s]	čas
u	[-]	rovnoměrnost bočního denního osvětlení
UDI	[%]	prospěšná denní osvětlenost (useful daylight illuminance)
$V(\lambda)$	-	poměrná spektrální světelná účinnost pro záření o vlnové délce λ – fotopické vidění
$V'(\lambda)$	-	poměrná spektrální světelná účinnost pro záření o vlnové délce λ – skotopické vidění
WI	[-]	index atria (dle anglické literatury „well index“)
z	[ks]	počet zastíněných čtverců sítě Waldramova diagramu, kdy počet čtverců pro nezastíněnou vertikální rovinu činí 396
α	[-]	činitel pohlcení světla (absorpce)
β	[rad; °]	úhel dopadu
δ	[rad; °]	úhel odrazu
Δd_{Dw}	[%]	relativní změna činitele denní osvětlenosti vlivem změny činitele odrazu světla venkovních povrchů stanovená na základě hodnot činitele denní osvětlenosti pro referenční a porovnávaný model pro stejný úhel stínění nebo stejný index atria
$\Delta d_{i,sw}$	[%]	relativní chyba výpočtem stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{i,sw}$ od referenční hodnoty $D_{i,ref}$ v bodě i
$\Delta D_{i,sw}$	[procentní bod]	rozdíl hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu a referenční hodnoty v bodě i
$\Delta d_{i,sw,j}$	[%]	relativní chyba výpočtem stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{i,sw,j}$ [%] od referenční hodnoty $D_{i,ref,j}$ [%] v bodě i pro j -té měření
$\Delta D_{i,sw,j}$	[procentní bod]	rozdíl hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu a referenční hodnoty v bodě i pro j -té měření
ΔF_{point}	[procentní bod]	rozdíl v hodnotách porovnávaného a referenčního kritéria F_{point}
$\Delta L_{y,p,i}$	[%]	relativní odchylka naměřené hodnoty jasu v rovině i v elevačním úhlu y od průměrného jasu oblohy $L_{p,y}$ v elevačním úhlu y , kde $i = \{I, II, III\}$
ΔRM	[procentní bod]	rozdíl hodnot stanovených regresními modely a světelnou simulací, přičemž data zjištěná světelnou simulací jsou referenčními hodnotami
ε	[rad; °]	úhel stínění dle obr. 7.1.1
ε_{ekv}	[rad; °]	ekvivalentní úhel stínění
$\varepsilon_{ekv,N}$	[rad; °]	požadovaný ekvivalentní úhel stínění
$\varepsilon_{ekv,rec}$	[rad; °]	doporučený ekvivalentní úhel stínění
ε_p	[rad; °]	úhel stanovený z hodnoceného bodu k patě překážky dle obr. 7.1.1
λ	[m]	vlnová délka
ρ	[-]	činitel odrazu světla (reflektance)

označení	jednotka	popis
ρ_a	[-]	činitel odrazu světla povrchu (pro měření na modelu)
$\overline{\rho_a}$	[-]	aritmetický průměr hodnot činitele odrazu světla povrchu (pro měření na modelu)
$\rho_{a, SW}$	[-]	činitel odrazu světla povrchu modelu pro výpočet v programu Daysim
ρ_{ai}	[-]	na základě i -tého měření jasů stanovená hodnota činitele odrazu světla povrchu (pro měření na modelu)
$\rho_{a\lambda, i}$	[-]	změřený spektrální činitel odrazu světla povrchu stanovený v i -tém měření (pro měření na modelu)
ρ_b	[-]	činitel odrazu světla povrchu (pro měření in-situ)
$\overline{\rho_b}$	[-]	aritmetický průměr hodnot činitele odrazu světla povrchu (pro měření in-situ)
$\rho_{b, SW}$	[-]	činitel odrazu světla povrchu pro výpočet v programu Daysim (měření in-situ)
ρ_{bi}	[-]	na základě i -tého měření jasů stanovená hodnota činitele odrazu světla povrchu (pro měření in-situ)
ρ_E	[-]	činitel odrazu světla etalonu
ρ_p	[-]	činitel odrazu světla od překážky, průčelí budov
ρ_T	[-]	činitel odrazu světla od terénu
τ	[-]	činitel prostupu světla (transmise)
$\tau_{s, nor}$	[-]	činitele prostupu světla zasklením ve směru normály k povrchu
$\tau_{s, z}$	[-]	činitel prostupu světla zasklením včetně činitele znečištění
$\overline{\tau_{s, z}}$	[-]	aritmetický průměr hodnot činitele prostupu světla $\tau_{s, z}$
$\tau_{s, z, SW}$	[-]	činitel prostupu světla pro výpočet v programu Daysim (měření na modelu, měření in-situ)
$\tau_{s, zi}$	[-]	na základě i -tého měření jasů stanovená hodnota činitele prostupu světla $\tau_{s, z}$
τ_z	[-]	celkový činitel znečištění
$\tau_{z, e}$	[-]	činitel znečištění na vnější straně zasklení
$\tau_{z, i}$	[-]	činitel znečištění na vnitřní straně zasklení
Φ	[lm]	světelný tok
$\Phi_{e, \lambda}(\lambda)$	[W·m ⁻¹]	spektrální hustota zářivého toku o vlnové délce λ
Φ_e	[W]	zářivý světelný tok
Φ_a	[lm]	světelný tok pohlcený předmětem nebo prostředím
Φ_p	[lm]	světelný tok odražený od povrchu předmětu nebo prostředí
Φ_τ	[lm]	světelný tok prostupující předmětem nebo prostředím
χ	[-]	označení plochy
ψ	[rad; °]	úhel, který v bodě povrchu plošného zdroje svírá směr pozorování s normálou povrchu zdroje v tomto bodě
ω	[rad; °]	úhel lomu
Ω	[sr]	prostorový úhel
Ω_j	[sr]	prostorový úhel, který vymezuje j -tou elementární část oblohy

11.2 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

zkratka	popis
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method – multikriteriální systém hodnocení budov
BS	britská technická norma
CBDM	modelování denního osvětlení založené na klimatických datech (Climate Based Daylight Modelling)
cca	cirka, přibližně
CEN	Evropský výbor pro normalizaci (Comité Européen de Normalisation)
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování (Commission Internationale de l'Éclairage)
č.	číslo
čl.	článek
ČSN	česká technická norma
ČSN EN	evropská norma převzatá do národního systému norem České republiky
DD.MM.	formát zápisu data, například 1. březen je ve formátu DD.MM. zapsán 01.03.
EN	evropská norma
ks	kus
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design – multikriteriální systém hodnocení budov
MZ	model zastínění
např.	například
obr.	obrázek
odst.	odstavec
p. b.	procentní bod
písm.	písmeno
RM	regresní model
SI	Mezinárodní systém jednotek (Le Système International d'Unités)
STN	slovenská technická norma
str.	strana
tab.	tabulka
tj.	to je
tzn.	to znamená
VUT	Vysoké učení technické

11.3 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1.1	Průběh poměrné spektrální světelné účinnosti monochromatického záření pro fotopické $V(\lambda)$ a skotopické $V'(\lambda)$ vidění (autor podle [115] str. 40).....	13
Obr. 2.2.1	Jas v bodě na svítící ploše v daném směru (autor podle [65] obr. 5.19).....	15
Obr. 2.2.2	Osvětlenost bodovým zdrojem, I_N [cd] – svítivost bodového zdroje ve směru kolmém k hlavní vyzařovací ploše svítidla ([58] obr. 3.5, upraveno značení).....	17
Obr. 2.2.3	Osvětlenost plošným zdrojem, N_{dA} – normála k elementární ploše dA , N_χ – normála k ploše χ ([44] obr. 75.5B, upraveno)	18
Obr. 2.3.1	Odraz světla od povrchu předmětu (autor podle [61] obr. III.8; [67] obr. 6.2; [115] obr. 17)	19
Obr. 2.3.2	Odraz světla od povrchu předmětu (autor podle [61] obr. III.8; [115] obr. 20)	21
Obr. 2.5.1	Schéma řezu místností s hodnoceným bodem i pro základní stanovení koeficientu denního světla v bodě i od segmentu oblohy s jasem $L_{v,AZ}$ (autor podle [93] Figure 1; [105] Fig. 2-5; [119] Fig. 10.1).....	27
Obr. 2.5.2	Schéma složek činitele denní osvětlenosti D_w a umístění kontrolního bodu pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w podle normy ČSN 73 0580-1 [8] (autor podle [8] obrázek B.1).....	30
Obr. 2.5.3	Hodnoty činitele denní osvětlenosti $D_{w,v}$ [%] ve vertikální rovině a jeho složek v závislosti na úhlu stínění ε [°] při činiteli jasu stínící překážky i terénu $k_m = 0,1$ (autor podle vzorců uvedených v [71] str. 61 – 62)	31
Obr. 2.5.4	Model J. Mardaljevice pro určení vlivu světelné reflektance na hodnotu činitele denní osvětlenosti na fasádě ([95] Figure 9, doplněna čísla bodů).....	33
Obr. 2.5.5	Stanovení maximálního přípustného úhlu stínění 25° pro řadové rodinné domy ve Velké Británii ([85] Figure F1, přeloženo, doplněna přibližná vzdálenost mezi budovami).....	36
Obr. 2.5.6	Kontrola jasu oblohy při měření denního osvětlení [116]	48
Obr. 5.3.1	Schéma místnosti pro testové situace 5.9 a 5.10 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 15)	62
Obr. 5.3.2	Schéma místnosti pro testové situace 5.11 a 5.12 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 20)	68
Obr. 5.3.3	Vliv hodnocené místnosti na jas terénu pro testovou situaci 5.11 uvedenou v metodice CIE 171: 2006 (hodnoty jasu terénu stanoveny výpočtem v programu Daysim 3.1b), grafické znázornění oblohové a vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti dopadající do vybraných bodů v rovině zadní stěny místnosti (autor)	74
Obr. 5.3.4	Schéma řezu (vlevo) a půdorysu (vpravo) místnosti pro testovou situaci 5.13 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 24, 25)	82
Obr. 5.3.5	Schéma řezu hodnocené místnosti pro testovou situaci 5.13 metodiky CIE 171: 2006 s vyznačením hranice stínění oblohové složky horizontální překážkou pro hodnocené varianty (autor)	85
Obr. 5.3.6	Schéma řezu (vlevo) a půdorysu (vpravo) místnosti pro testovou situaci 5.14 dle metodiky CIE 171: 2006 ([6] Fig. 27)	86

Obr. 5.3.7	Schéma řezu hodnocené místnosti pro testovou situaci 5.14 metodiky CIE 171: 2006 s vyznačením hranice stínění oblohové složky vertikální překážkou pro hodnocené varianty (autor).....	88
Obr. 5.3.8	Rekapitulace relativních chyb pro body, ve kterých lze program Daysim validovat dle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 (autor).....	92
Obr. 5.4.1	Fotografie z měření na modelu (autor).....	95
Obr. 5.4.2	Schéma půdorysu a řezu místnosti modelu, schéma pohledu na desku pro měření vertikálních osvětleností (autor).....	96
Obr. 5.4.3	Schéma půdorysu a řezu jednotlivých variant zastínění modelu (autor)	97
Obr. 5.4.4	Zastínění místnosti vertikální překážkou výšky 8 m ve vzdálenosti 7 m (varianty zastínění 1Aa až 1Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)	104
Obr. 5.4.5	Zastínění místnosti vertikální překážkou výšky 8 m ve vzdálenosti 12 m (varianty zastínění 2Aa až 2Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)	108
Obr. 5.4.6	Zastínění místnosti horizontální překážkou nad oknem (varianty zastínění 3Aa – 3Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor)	111
Obr. 5.4.7	Zastínění místnosti ve vnitrobloku (varianty zastínění 4Aa až 4Bc) – model pro světelné simulace v programu Daysim (autor).....	114
Obr. 5.4.8	Rekapitulace relativních chyb pro body 1 – 4 v horizontální rovině pro měření na modelu (autor).....	118
Obr. 5.4.9	Rekapitulace relativních chyb pro body W1 a W2 ve vertikální rovině pro měření na modelu (autor).....	119
Obr. 5.5.1:	Měření in-situ pro stanovení činitele odrazu světla venkovní stěny pomocí měření jasu etalonu jasoměrem Gossen Mavo-Spot 2 ve Žďáru nad Sázavou, vlevo fotografie jasoměru a etalonu, vpravo pohled do okuláru jasoměru Gossen Mavo-Spot 2 se zobrazením změřené hodnoty jasu na povrchu etalonu (autor).....	123
Obr. 5.5.2:	Schéma umístění (situace) hodnocené místnosti ve Žďáru nad Sázavou (autor).....	125
Obr. 5.5.3:	Schéma pohledů na stěny dvora pro sestavení výpočetního modelu, značení stěn dle obr. 5.5.2 (autor).....	126
Obr. 5.5.4:	Schéma půdorysu (včetně zařízení) hodnocené místnosti ve Žďáru nad Sázavou (autor)	127
Obr. 5.5.5:	Schéma umístění hodnocených bodů v místnosti ve Žďáru nad Sázavou (autor)	130
Obr. 5.5.6:	Vyznačení umístění hodnocené místnosti a místa měření venkovních denních osvětleností E_H a jasů oblohy při měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor s využitím [135])	132
Obr. 5.5.7:	Měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou, rozmístění jedné řady luxmetrů v místnosti (vlevo) a umístění horizontální překážky délky 1,20 m nad oknem místnosti (vpravo) (autor) .	132
Obr. 5.5.8	Model pro světelné simulace v programu Daysim – měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou – varianta zastínění 2 (autor).....	133
Obr. 5.5.9:	Schéma umístění (situace) hodnocené místnosti v Brně pro vytvoření výpočetního modelu (autor).....	137

Obr. 5.5.10: Schéma pohledu pro sestavení výpočetního modelu – fasáda budovy B směrem do ulice Rybkova – 1. část (autor).....	138
Obr. 5.5.11: Schéma pohledu pro sestavení výpočetního modelu – fasáda budovy B směrem do ulice Rybkova – 2. část (legenda uvedena u 1. části pohledu) (autor)	139
Obr. 5.5.12: Schéma pohledu pro sestavení výpočetního modelu – fasáda budovy R směrem do ulice Rybkova (autor).....	140
Obr. 5.5.13: Schéma půdorysu (včetně zařízení) hodnocené místnosti v Brně (autor).....	141
Obr. 5.5.14: Schéma umístění hodnocených bodů v místnosti v Brně (autor)	144
Obr. 5.5.15: Vyznačení umístění hodnocené místnosti a místa měření venkovních denních osvětleností E_H a jasů oblohy při měření in-situ v Brně (autor s využitím [136])	145
Obr. 5.5.16: Rozmístění jedné řady luxmetrů v měřené místnosti v Brně (vlevo); umístění jasoměru a luxmetru na venkovní horizontální rovině (vpravo) (autor)	145
Obr. 5.5.17 Model pro světelné simulace v programu Daysim – měření in-situ v Brně (autor).....	146
Obr. 5.5.18 Rekapitulace relativních chyb pro body 1 – 9 a bod W pro měření na modelu (autor)..	148
Obr. 5.5.19 Rekapitulace relativních chyb pro body 1 – 6 a bod W pro měření na modelu (autor)..	149
Obr. 7.1.1 Schéma situace a řezu zastínění hodnocené místnosti souvislou vertikální překážkou před oknem pro způsob zastínění I.1, I.2 – (autor)	156
Obr. 7.1.2 Schéma situace a řezu zastínění hodnocené místnosti horizontální překážkou nad oknem pro způsob zastínění II.1 (autor)	157
Obr. 7.1.3 Schéma situace a řezu pro místnost ve čtvercovém vnitrobloku pro způsob zastínění III.1 až III.3 (autor).....	158
Obr. 7.1.4 Schéma situace a řezu pro způsob zastínění IV – bez stínění (autor).....	158
Obr. 7.1.5 Schéma k použitým termínům způsob stínění, model zastínění, varianta zastínění (autor)	160
Obr. 7.2.1 Schéma půdorysu a řezu hodnocené místnosti a umístění kontrolních bodů (autor).....	161
Obr. 7.4.1 Modely zastínění hodnocené místnosti (autor).....	164
Obr. 7.4.2 Oblohové vodorovné osvětlenosti pro dynamické simulace denního osvětlení v programu Daysim s časovým krokem 20 minut (autor podle datového souboru programu Daysim)	165
Obr. 7.6.1 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění I.1.Aa až I.1.Ca (autor).....	170
Obr. 7.6.2 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění I.1.Ab až I.1.Cb (autor)	171
Obr. 7.6.3 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Ca (autor).....	172
Obr. 7.6.4 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění I.2.Ab až I.2.Cb (autor)	173
Obr. 7.6.5 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění II.1.Aa až II.1.Ca (autor)	175

Obr. 7.6.6	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na úhlu stínění ε pro modely zastínění II.1.Ab až II.1.Cb (autor)	176
Obr. 7.6.7	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.1.Aa až III.1.Ca (autor)	180
Obr. 7.6.8	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.1.Ab až III.1.Cb (autor)	181
Obr. 7.6.9	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.2.Aa až III.2.Ca (autor)	182
Obr. 7.6.10	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.2.Ab až III.2.Cb (autor)	183
Obr. 7.6.11	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.3.Aa až III.3.Ca (autor)	184
Obr. 7.6.12	Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w na indexu atria WI pro modely zastínění III.3.Ab až III.3.Cb (autor)	185
Obr. 7.8.1	Závislost činitele denní osvětlenosti D_i v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění (autor)	188
Obr. 7.8.2	Činitel denní osvětlenosti v kontrolních bodech hodnocené místnosti pro uvedené varianty zastínění (autor)	189
Obr. 7.8.3	Závislost kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění se severně orientovanou místností (autor)	190
Obr. 7.8.4	Závislost kritéria $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění s jižně orientovanou místností (autor). 190	190
Obr. 7.8.5	Podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i v místnosti s oknem na sever pro uvedené varianty zastínění (autor)	191
Obr. 7.8.6	Podíl doby s denním světlem $F_{time, 100 lx, i}$ v kontrolních bodech i v místnosti s oknem na jih pro uvedené varianty zastínění (autor)	192
Obr. 7.8.7	Závislost kritéria $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění se severně orientovanou místností (autor)	193
Obr. 7.8.8	Závislost kritéria $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech i uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro uvedené varianty zastínění s jižně orientovanou místností (autor). 193	193
Obr. 7.8.9	Podíl doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech místnosti s oknem na sever pro uvedené varianty zastínění (autor)	194
Obr. 7.8.10	Podíl doby s denním světlem $F_{time, 300 lx, i}$ v kontrolních bodech místnosti s oknem na jih pro uvedené varianty zastínění (autor)	195
Obr. 7.8.11	Schéma zastínění oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro místnost stíněnou vertikální překážkou před oknem ve variantách zastínění I.2.Aa $D_w \approx 32\%$, a I.2.Cb $D_w \approx 32\%$ (autor)	197

Obr. 7.8.12	Schéma zastínění oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro místnost ve středu šířky čtvercového vnitrobloku ve variantách zastínění III.2.Aa $D_w \approx 32\%$, a III.2.Cb $D_w \approx 32\%$ (autor)	197
Obr. 7.8.13	Schéma zastínění oblohového světla pro místnost stíněnou horizontální překážkou nad oknem (autor)	198
Obr. 7.9.1	Závislost kritéria $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – severně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)	209
Obr. 7.9.2	Závislost kritéria $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – jižně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)	209
Obr. 7.9.3	Závislost kritéria $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – severně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)	210
Obr. 7.9.4	Závislost kritéria $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – jižně orientovaná místnost v modelech zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)	210
Obr. 7.9.5	Závislost kritéria $F_{\text{point}, 0,7\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – modely zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)	211
Obr. 7.9.6	Závislost kritéria $F_{\text{point}, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w – modely zastínění I.2.Aa a I.2.Cb – vertikální překážka, II.1.Aa a II.1.Cb – horizontální překážka, III.2.Aa a III.2.Cb – čtvercový vnitroblok (autor)	211
Obr. 7.10.1	Regresní modely I.2.R.1 až I.2.R.3 – závislost kritérií $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$ a $F_{\text{point}, 0,7\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro vertikální překážku před oknem (autor)	218
Obr. 7.10.2	Regresní modely I.2.R.4 až I.2.R.6 – závislost kritérií $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$ a $F_{\text{point}, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro vertikální překážku před oknem (autor)	218
Obr. 7.10.3	Regresní modely II.1.R.1 až II.1.R.3 – závislost kritérií $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$ a $F_{\text{point}, 0,7\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro horizontální překážku nad oknem (autor) ..	219
Obr. 7.10.4	Regresní modely II.1.R.4 až II.1.R.6 – závislost kritérií $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$ a $F_{\text{point}, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro horizontální překážku nad oknem (autor) ..	219
Obr. 7.10.5	Regresní modely III.2.R.1 až III.2.R.3 – závislost kritérií $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$ a $F_{\text{point}, 0,7\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro čtvercový vnitroblok (autor).....	220
Obr. 7.10.6	Regresní modely III.2.R.4 až III.2.R.6 – závislost kritérií $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$ a $F_{\text{point}, 2,0\%}$ na hodnotě činitele denní osvětlenosti D_w pro čtvercový vnitroblok (autor).....	220
Obr. 7.10.7	Grafické porovnání hodnot kritérií $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$, $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$, $F_{\text{point}, 0,7\%}$ a $F_{\text{point}, 2,0\%}$ stanovených simulacemi v programu Daysim a navrženými regresními modely v rozsahu hodnot D_w od 15 % do 40 % (autor)	221
Obr. 7.11.1	Grafické porovnání ekvivalentnosti hodnot kritérií $F_{\text{point}, 0,7\%}$ a $F_{\text{point}, 100 \text{ lx}, 50\%}$, $F_{\text{point}, 300 \text{ lx}, 50\%}$, a $F_{\text{point}, 2,0\%}$ stanovených regresními modely v rozsahu hodnot D_w od 15 % do 40 % (autor)	227

Obr. 8.2.1	Výška souběžné vertikální překážky ve vzdálenosti 20 m od hodnocené budovy pro limitní dosažení minimální požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w pro kategorie 1 – 4 podle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8] (autor)	233
Obr. 8.2.2	Činitel denní osvětlenosti uvnitř hodnocené místnosti pro porovnávané varianty zastínění (autor).....	236
Obr. 8.2.3	Závislost hodnot činitele denní osvětlenosti v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti na vzdálenosti od okenní stěny pro porovnávané varianty zastínění (autor)	237
Obr. 8.2.4	Podíl doby s denním světlem $F_{\text{time}, 100 \text{ lx}, i}$ v místnostech s oknem na jih a na sever pro porovnávané varianty zastínění (autor).....	238
Obr. 8.2.5	Závislost podílu doby s denním světlem $F_{\text{time}, 100 \text{ lx}, i}$ na vzdálenosti od okenní stěny pro porovnávané varianty zastínění se severně a jižně orientovanou místností (autor)	239
Obr. 8.2.6	Podíl doby s denním světlem $F_{\text{time}, 300 \text{ lx}, i}$ v místnostech s oknem na jih a na sever pro porovnávané varianty zastínění (autor).....	240
Obr. 8.2.7	Závislost podílu doby s denním světlem $F_{\text{time}, 300 \text{ lx}, i}$ na vzdálenosti od okenní stěny pro porovnávané varianty zastínění se severně a jižně orientovanou místností (autor)	241

11.4 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1.1:	Dělení optického záření podle vlnové délky λ (autor podle [115] str. 1 – 2).....	12
Tab. 2.5.1:	Požadované nejnižší hodnoty činitele denní osvětlenosti D_w [%] roviny zasklení okna ([8] tabulka B.1, upraveno).....	35
Tab. 2.5.2:	Úhel stínění a minimální oblohová složka činitele denní osvětlenosti odpovídající pro dané zeměpisné šířky oblohové složce činitele denní osvětlenosti 27 % ve Velké Británii ([87] table 3, přeloženo, upraveno).....	37
Tab. 2.5.3:	Požadované a doporučené hodnoty ekvivalentního úhlu stínění na Slovensku dle normy STN 73 0580-1 [32] (autor dle textu části 4.4 normy STN 73 0580-1 Z2 [32], publikováno v [127]).....	38
Tab. 2.5.4:	Doporučení pro příspěvek denního světla v prostoru pro svislé nebo šikmé osvětlovací otvory platné pro Českou republiku dle tabulek A.1 a A.3 normy ČSN EN 17037 [24] (autor podle [24] tabulky A.1, A.3)	43
Tab. 2.5.5:	Doporučení pro příspěvek denního světla v prostoru pro vodorovné osvětlovací otvory s jiným než difúzním zasklením platné pro Českou republiku dle tabulek A.2 a A.3 normy ČSN EN 17037 [24] (autor podle [24] tabulky A.2, A.3).....	44
Tab. 5.1.1:	Přehled simulačních parametrů použitých pro světelné simulace v programu Daysim (autor).....	58
Tab. 5.3.1:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.9 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)	63
Tab. 5.3.2:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N pro testovou situaci 5.9 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)	64

Tab. 5.3.3:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F testové situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	66
Tab. 5.3.4:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N testové situace 5.10 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	67
Tab. 5.3.5:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	69
Tab. 5.3.6:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	70
Tab. 5.3.7:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G' až N' pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	70
Tab. 5.3.8:	Referenční a v programech AGi32 a NVIDIA Iray vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body v bodech G' až N' pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavení tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 33 a [123] str. 32).....	72
Tab. 5.3.9:	Referenční a v programech AGi32, NVIDIA Iray a Radiance vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.11 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavení tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 33, [123] str. 32 a [121] str. 89, 90)	75
Tab. 5.3.10:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	77
Tab. 5.3.11:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G až N testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	77
Tab. 5.3.12:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G' až N' testové situace 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	78
Tab. 5.3.13:	Referenční a v programech AGi32 a NVIDIA Iray vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body G' až N' pro testovou situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavení tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 36 a [123] str. 34).....	79
Tab. 5.3.14:	Referenční a v programech AGi32, NVIDIA Iray a Radiance vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až F pro testovou situaci 5.12 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (sestavení tabulky autor, hodnoty stanovené v bodech G' až N' převzaty z [122] str. 36, [123] str. 34 a [121] str. 91, 92)	81
Tab. 5.3.15:	Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až H testové situace 5.13 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor).....	84

Tab. 5.3.16: Referenční a v programu Daysim vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnotící kritéria pro body A až H testové situace 5.14 metodiky CIE 171: 2006 pro typ oblohy CIE 16 (autor)	87
Tab. 5.3.17: Shrnutí proveditelnosti validace programu Daysim dle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16 (autor)	91
Tab. 5.4.1: Hodnoty činitele odrazu světla venkovních povrchů pro validaci pomocí měření na modelu (autor).....	98
Tab. 5.4.2: Přehled variant zastínění pro validaci pomocí měření na modelu (autor).....	99
Tab. 5.4.3: Hodnoty činitele prostupu světla zasklením místnosti modelu (autor)	99
Tab. 5.4.4: Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních povrchů modelu (autor)	100
Tab. 5.4.5: Přehled čidel použitých pro měření denních osvětleností na modelu (autor)	101
Tab. 5.4.6: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 1Aa až 1Ac (autor).....	105
Tab. 5.4.7: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 1Ba až 1Bc (autor).....	106
Tab. 5.4.8: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 2Aa až 2Ac (autor).....	109
Tab. 5.4.9: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 2Ba až 2Bc (autor).....	110
Tab. 5.4.10: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 3Aa až 3Ac (autor).....	112
Tab. 5.4.11: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 3Ba až 3Bc (autor).....	113
Tab. 5.4.12: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 4Aa až 4Ac (autor).....	115
Tab. 5.4.13: Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci variant zastínění 4Ba až 4Bc (autor).....	116
Tab. 5.4.14: Absolutní četnosti relativní chyby $\Delta d_{i, sw, j}$ [%] vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech 1 až 4 od hodnot změřených na modelu pro varianty 1Aa až 4Bc (autor).....	118
Tab. 5.4.15: Absolutní četnosti relativní chyby $\Delta d_{i, sw, j}$ [%] vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodech W1 a W2 od hodnot změřených na modelu pro varianty 1Aa až 4Bc (autor).....	119

Tab. 5.5.1:	Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních a vnějších netransparentních povrchů pro měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor)	128
Tab. 5.5.2:	Hodnoty činitele prostupu světla zasklením jednoduchým čirým sklem pro měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor)	129
Tab. 5.5.3:	Přehled čidel použitých pro měření denních osvětleností in-situ ve Žďáru nad Sázavou (autor)	131
Tab. 5.5.4:	Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením in-situ ve Žďáru nad Sázavou a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria (autor)	134
Tab. 5.5.5:	Hodnoty činitele odrazu světla vnitřních a vnějších netransparentních povrchů pro měření in-situ v Brně (autor)	142
Tab. 5.5.6:	Přehled čidel použitých pro měření denních osvětleností in-situ v Brně (autor).....	144
Tab. 5.5.7:	Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřením na modelu a výpočty v programu Daysim, hodnotící kritéria pro hodnocené body v rámci měření in-situ v Brně (autor). 147	
Tab. 7.1.1:	Výšky souvislé vertikální překážky před oknem hodnocené místnosti pro způsoby zastínění I.1, I.2 (autor).....	156
Tab. 7.1.2:	Délky souvislé horizontální překážky nad oknem hodnocené místnosti pro způsob zastínění II.1 (autor).....	157
Tab. 7.1.3:	Délky vnitřní strany čtvercového vnitrobloku pro způsob zastínění III.1 – III.3 (autor) 158	
Tab. 7.1.4:	Modely zastínění pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov (autor)	159
Tab. 7.6.1:	Přehled diagramů a regresních modelů pro stanovení činitele denní osvětlenosti D_w ve výšce 2 m nad terénem pro způsoby zastínění I.1 až III.3 (autor)	167
Tab. 7.6.2:	Relativní změny Δd_{Dw} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu při zachování činitele odrazu světla od budov – modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb (autor)	169
Tab. 7.6.3:	Relativní změna Δd_{Dw} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od budov při zachování činitele odrazu světla od terénu – modely zastínění I.1.Aa až I.2.Cb (autor)	169
Tab. 7.6.4:	Relativní změny Δd_{Dw} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu při zachování činitele odrazu světla od horizontální překážky a hodnocené budovy – modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb (autor)	174
Tab. 7.6.5:	Relativní změny Δd_{Dw} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od horizontální překážky při zachování činitele odrazu světla od terénu – modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb (autor)	174
Tab. 7.6.6:	Úhel stínění ε_a naproti stojící stěnou vnitrobloku výšky h_a pro bod ve výšce 2 m nad terénem při indexu WI (autor)	177
Tab. 7.6.7:	Relativní změny Δd_{Dw} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od terénu při zachování činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku – modely zastínění III.1 až III.3 (autor).....	178

Tab. 7.6.8: Relativní změny Δd_{Dw} činitele denní osvětlenosti D_w vlivem zvýšení činitele odrazu světla od stěn vnitrobloku při zachování činitele odrazu světla od terénu – modely zastínění III.1 až III.3 (autor)	179
Tab. 7.8.1: Doplnující varianty zastínění pro dosažení činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32\%$ (autor)	188
Tab. 7.8.2: Maximální vzdálenost, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti splněna cílová a minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti, hodnoty kritérií $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32\%$ (autor)	199
Tab. 7.8.3: Maximální vzdálenost, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo osvětlenosti alespoň 100 lx minimálně pro 50 % doby s denním světlem, hodnoty kritéria $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32\%$ (autor).....	202
Tab. 7.8.4: Maximální vzdálenost, ve které je v kontrolních bodech uprostřed šířky místnosti dosaženo denní osvětlenosti alespoň 300 lx minimálně pro 50 % doby s denním světlem, hodnoty kritéria $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32\%$ (autor).....	204
Tab. 7.8.5: Rekapitulace hodnot kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro hodnocené varianty zastínění při hodnotě $D_w \approx 32\%$ (autor).....	205
Tab. 7.10.1: Popis regresních modelů pro vybrané způsoby zastínění (autor).....	215
Tab. 7.10.2: Stanovení kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro hodnotu činitele denní osvětlenosti $D_w \approx 32\%$ pomocí regresních modelů (autor)	216
Tab. 7.10.3: Stanovení kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro vybrané varianty zastínění pomocí regresních modelů a simulací denního osvětlení (autor)	217
Tab. 7.11.1: Hodnoty kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 0,7\%}$ stanovené regresními modely (autor).....	223
Tab. 7.11.2: Porovnání hodnot kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 0,7\%}$ pro uvedené regresní modely (autor)	223
Tab. 7.11.3: Hodnoty kritérií $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro regresní modely vybraných způsobů zastínění (autor)	225
Tab. 7.11.4: Porovnání hodnot kritérií $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$ a $F_{point, 2,0\%}$ pro uvedené regresní modely (autor)	225
Tab. 8.2.1: Varianta zastínění pro porovnání vlivu snížení hodnot činitele odrazu světla od venkovních povrchů na denní osvětlení zastíněné místnosti (autor)	234
Tab. 8.2.2: Hodnoty kritérií $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$, $F_{point, 0,7\%}$, $F_{point, 2,0\%}$, maximální vzdálenost od okenní stěny $l_{w, 100\text{ lx}, 50\%}$, $l_{w, 300\text{ lx}, 50\%}$, $l_{w, 0,7\%}$, $l_{w, 2,0\%}$ pro hodnocené varianty zastínění při výšce souběžné vertikální překážky $h_v = 15,90\text{ m}$ (autor).....	235

SEZNAM PŘÍLOH NA CD

- **12.1 Přístroje použité pro měření**
 - 12.1.1 Čidla pro měření denních osvětleností Ahlborn FLA 623 VL
 - 12.1.2 Jasoměry
 - 12.1.3 Spektrofotometr
 - 12.1.4 Pocket Detective 2.1
- **12.2 Stanovení činitele odrazu světla povrchů modelu a etalonu pomocí spektrofotometru**
- **12.3 Stanovení činitele prostupu světla pro jednoduché zasklení modelu**
- **12.4 Stanovení činitele odrazu a prostupu světla vnitřních a vnějších povrchů při měření in-situ**
 - 12.4.1 Stanovení činitele odrazu světla vnitřních a vnějších povrchů
 - 12.4.2 Stanovení světelné propustnosti okna při měření in-situ
 - 12.4.3 Stanovení činitele odrazu a prostupu světla: Měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou
 - 12.4.4 Stanovení činitele odrazu a prostupu světla: Měření in-situ v Brně
- **12.5 Měření jasů oblohy a denních osvětleností při měření na modelu a in-situ**
 - 12.5.1 Měření jasů oblohy a denních osvětleností: Měření na modelu
 - 12.5.2 Měření jasů oblohy a denních osvětleností: Měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou
 - 12.5.3 Měření jasů oblohy a denních osvětleností: Měření in-situ v Brně
- **12.6 Výsledky hodnotících kritérií pro modely zastínění stanovené pomocí simulací denního osvětlení v programu Daysim**
- **12.7 Výsledky hodnotících kritérií pro modely zastínění stanovené pomocí regresních modelů**
- **12.8 Datové soubory pro simulace denního osvětlení**
 - 12.8.1 Validace programu Daysim: Metodika CIE 171:2006
 - 12.8.2 Validace programu Daysim: Měření na modelu
 - 12.8.3 Validace programu Daysim: Měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou
 - 12.8.4 Validace programu Daysim: Měření in-situ v Brně
 - 12.8.5 Analýza denního osvětlení zastíněných budov

Poznámka k příloze 12.8: Z důvodu omezení maximální velikosti souboru příloh na 50 MB a požadavek na shodu listinné a elektronické formy práce obsahuje tato příloha pouze vstupní soubory pro simulace denního osvětlení budov.