



# 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

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

denní osvětlení zastíněných budov, Daysim, dynamické simulace denního osvětlení

## **KEY WORDS**

daylighting of obstructed buildings, Daysim, dynamic daylight simulations

## **Místo uložení rukopisu disertační práce**

Rukopis disertační práce je uložen v archivu pedagogicko-vědeckého oddělení Fakulty stavební VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

© Ing. et Ing. Lenka Gábrová, 2020

## OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Rešerše</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Cíle dizertační práce</b> .....	<b>6</b>
3.1	Prostředky ke splnění cílů práce.....	6
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Validování programu Daysim z hlediska činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze</b> .....	<b>7</b>
5.1	Parametry výpočtu.....	7
5.2	Kritéria pro vyhodnocení přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených výpočtem v programu Daysim .....	8
5.3	Validování programu Daysim dle vybraných testových situací metodiky CIE 171: 2006.....	8
5.4	Validování programu Daysim z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti pomocí měření na modelu .....	10
5.5	Validování programu Daysim z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti pomocí měření in-situ.....	13
<b>6</b>	<b>Analýza denního osvětlení zastíněných budov</b> .....	<b>15</b>
6.1	Stanovení charakteristických způsobů zastínění .....	15
6.2	Návrh místnosti pro analyzování denního osvětlení uvnitř zastíněných budov .....	18
6.3	Hodnotící kritéria .....	19
6.4	Simulace denního osvětlení.....	19
6.5	Výsledky simulací denního osvětlení pro navržené modely zastínění.....	19
6.6	Závislost činitele denní osvětlenosti $D_w$ na kritériu popisujícím stínění překážkou ..	20
6.7	Regresní modely závislosti kritérií pro hodnocení příspěvku denního světla v místnosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti $D_w$ .....	21
6.8	Porovnání kvanta denního světla v místnosti stanoveného pomocí hladin osvětleností a pomocí činitele denní osvětlenosti .....	23
<b>7</b>	<b>Návrh úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy</b> .....	<b>25</b>
7.1	Formulace návrhů.....	25
7.2	Odůvodnění návrhů .....	26
<b>8</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>28</b>
8.1	Validace programu Daysim.....	28
8.2	Analýza denního osvětlení zastíněných budov .....	29
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Autorův životopis</b> .....	<b>33</b>
<b>11</b>	<b>Výběr z publikací autora</b> .....	<b>34</b>
<b>12</b>	<b>Abstrakt</b> .....	<b>35</b>

## 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 zajištění vidění má denní světlo také pozitivní vliv na psychiku i výkonnost člověka a efektivně stimuluje cirkadiánní rytmy ([3] str. 101; [4] str. 65 - 66)

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 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, jehož přesnost z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti je v dizertační práci ověřena pomocí metodiky CIE 171: 2006, měření na modelu a měření in-situ. Součástí dizertační práce je také návrh úpravy kritéria pro hodnocení přístupu světla k průčelí budovy.

## 2 REŠERŠE

---

Z literární rešerše provedené v kapitole 2 dizertační práce vyplynulo z hlediska denního osvětlení zastíněných budov mimo jiné:

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. 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. **Přístup světla k průčelí stávající budovy** se podle české normy ČSN 73 0580-1 [8] přílohy B hodnotí pomocí **činitele denní osvětlenosti  $D_w$  [%] roviny zasklení okna z vnější strany**. Toto hodnotící kritérium se skládá z oblohové složky činitele denní osvětlenosti a vnější odražené složky od terénu a od překážek. Ve slovenské normě STN 73 0580-1 [41] a v britské normě BS 8206-2 [5] jsou pro hodnocení přístupu světla k průčelí stávajících budov použita hodnotící kritéria, která jsou založena pouze na oblohové složce činitele denní osvětlenosti stanovené v rovině průčelí budovy. J. Mardaljevic na příkladu zastíněné budovy v článku [29] 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 překážek byla v hodnoceném bodě na fasádě zastíněné budovy stanovena hodnota činitele denní osvětlenosti ve vertikální rovině 30,3 %, ale při činiteli odrazu světla od překážek 0,4 byla ve stejném bodě tato hodnota 35,7 % [29]. V České republice je v případě činitele denní osvětlenosti  $D_w$  obvykle požadováno splnění hodnoty alespoň 32 % pro běžné prostory s trvalým pobytem lidí dle normy ČSN 73 0580-1 [8]. Na výsledcích v článku [29] lze ilustrovat, že **změna hodnoty činitele odrazu světla od 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 hodnocení reálné zastíňovací situace bývá problematické stanovit hodnoty činitelů odrazu světla od venkovních překážek, neboť hodnoty činitelů odrazu světla jednotlivých částí venkovních povrchů nejsou obvykle známé. **Hodnoty činitele odrazu světla venkovních povrchů použité ve výpočtech činitele denní osvětlenosti bývají často stanoveny posuzovatelem na základě subjektivního odhadu.**

**Kvantitativní hodnocení denního osvětlení uvnitř místnosti** může být dle normy ČSN EN 17037 [14] provedeno buď **metodou založenou na stanovení činitele denní osvětlenosti** při rovnoměrně zatažené obloze typ 1 nebo typ 16 podle ISO 15469 [20], nebo **metodou založenou na stanovení hladin osvětleností denním světlem** pro oblohové a sluneční podmínky běžného roku dle klimatických údajů pro hodnocené místo. Konkrétní normativní požadavky jsou uvedeny v čl. 5.1, A.1, A.2, B.1 až B.5 normy ČSN EN 17037 [14] Pro hodnocení denního osvětlení uvnitř budov v České republice jsou v současnosti (listopad 2019) platné také čtyři části normy ČSN 73 0580 [8], [9], [10], [11] a související právní předpisy.

**Kvantum denního světla v místnosti lze stanovit výpočtem nebo měřením.** Normami ČSN EN 17037 [14] a ČSN 73 0580-1 jsou stanoveny některé okrajové podmínky výpočtu, ale není stanovena konkrétní metoda výpočtu. V současnosti je hodnocení denního osvětlení realizováno především pomocí světelně technických programů [32], přičemž se v programech pro simulaci denního osvětlení v budovách lze dnes setkat zejména s následujícími metodami výpočtu: ray-tracing (např. Daysim, Radiance, ReluxDesktop), radiosity (např. DIALux 4.13, ReluxDesktop), fotonové mapy (např. Velux Daylight Visualizer). Validaci výpočtů denního osvětlení lze provést: 1) porovnáním výsledků světelně technických simulací pro analyticky řešitelnou situaci s výsledky **analytického řešení**; 2) **vzájemné porovnání výsledků výpočtů programů pro totožnou hodnocenou situaci**; 3) porovnání výsledků světelně technických simulací s výsledky **měření**. ([36] str. 252).

Při měření denního osvětlení se v České republice vychází z ustanovení norem ČSN 36 0011-1 [12] a ČSN 36 0011-2 [13]. 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 jejích jasů. 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. (např. [15]; [16]; [25]; [29]; [39] str. 67 - 68)

### 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 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 č. 5.5.2 a 5.5.3 tezí a podrobněji v kapitolách 5.4 a 5.5 dizertační práce.

Simulace denního osvětlení byly provedeny v programu Daysim 3.1b [19]. Jedná se o open source freeware software, který je dostupný na <https://daysim.ning.com/page/download>. Zastíňovací situace byly modelovány v programu Google SketchUp verze 6.4.247 [18] a export geometrie do programu Daysim byl proveden pomocí doplňku SU2DS (freeware) [23]. Data získaná z měření a simulací denního osvětlení byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel [30].

### 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:

- 1) Provedení literární rešerše
- 2) Stanovení charakteristických způsobů zastínění budov
- 3) Návrh místnosti pro analýzu denního osvětlení budov
- 4) Stanovení hodnotících kritérií pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov
- 5) Výběr programu pro analýzu denního osvětlení budov
- 6) Validace programu Daysim z hlediska hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených při rovnoměrně zatažené obloze

- 7) Vyhodnocení výsledků měření a simulací činitele denní osvětlenosti zjištěných pro model zastíněné místnosti z hlediska denního osvětlení zastíněných budov
- 8) Simulace denního osvětlení za účelem analyzování denního osvětlení uvnitř zastíněné místnosti
- 9) Sestavení diagramů pro stanovení hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D_w$
- 10) Analýza denního osvětlení uvnitř zastíněných místností v závislosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti  $D_w$
- 11) Návrh úpravy hodnocení přístupu světla k průčelí budovy

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

Pro simulace denního osvětlení v dizertační práci byl zvolen program **Daysim 3.1b** [19] (dále jen „Daysim“), jehož přesnost z hlediska simulací denního osvětlení založených na klimatických datech byla validována několika zahraničními studii (např. [33], [34], [35]). Z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze však pro program Daysim dle dostupných zdrojů byla publikována pouze validace [1], která se zabývá jen přesností stanovení oblohové složky činitele denní osvětlenosti pro několik testových situací metodiky CIE 171: 2006 [6]. Aby mohl být program Daysim v dizertační práci použit pro stanovení činitele denní osvětlenosti při analýze denního osvětlení zastíněných budov, je provedena validace hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim při rovnoměrně zatažené obloze. Ověření přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 bylo v programu Daysim provedeno pomocí:

- 1) porovnání výpočtem stanovených hodnot činitele denní osvětlenosti pro vybrané testové situace 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 ([40] str. 27) a zároveň byly tyto simulační parametry stanoveny na základě dříve publikovaných validací programu Daysim (např. [33]; [35]; [38] str. 190 – 191; [39] str. 65).

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

ab	ad	as	ar	aa	lr	st	si	lw	dj	ds	dr	dp
7	1500	100	300	0.05	6	0.15	1.00	0.004	0.000	0.200	2	512
<b>Poznámka:</b> Význam jednotlivých parametrů <i>ab</i> až <i>dp</i> je popsán například v publikacích [24], [39] str. 62 – 66, [40] str. 24 – 27.												

## 5.2 KRITÉRIA PRO VYHODNOCENÍ PŘESNOSTI HODNOT ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI STANOVENÝCH VÝPOČTEM V PROGRAMU DAYSIM

---

Hodnoty činitele denní osvětlenosti uvedené v metodice CIE 171:2006 [6], stanovené měřeními na modelu nebo měřeními in-situ představují **referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti**  $D_{i,ref}$  [%] pro porovnání s hodnotami činitele denní osvětlenosti stanovenými výpočtem ve světelně simulačním programu  $D_{i,sw}$  [%]. Na základě provedené literární rešerše (např. [1], [15], [26], [33], [34], [35], [43]) jsou pro vyhodnocení přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim použity v dizertační práci následující ukazatele:

- $\Delta D_{i,sw}$  [procentní bod (p. b.)] – rozdíl hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené výpočtem v programu a referenční hodnoty v bodě  $i$  dle vzorce (5.2.1)

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

- $\Delta d_{i,sw}$  [%] – relativní chyba výpočtem stanovené hodnoty činitele denní osvětlenosti v bodě  $i$  od referenční hodnoty dle vzorce (5.2.2)

$$\Delta d_{i,sw} = \frac{D_{i,sw} - D_{i,ref}}{D_{i,ref}} \cdot 100 \quad (5.2.2)$$

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

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

- $rRMSE$  [%] – relativní střední kvadratická chyba hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených výpočtem v programu od referenčních hodnot dle vzorce (5.2.4).

$$rRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{D_{i,sw} - D_{i,ref}}{D_{i,ref}} \right)^2} \cdot 100 \% \quad (5.2.4)$$

S ohledem na požadovaný rozsah tezí dizertační práce je v této části možno uvést pouze shrnutí jednotlivých provedených validací programu Daysim a vyhodnocení je v tezích omezeno pouze na relativní chybu. Podrobně jsou provedené validace popsány v kapitolách 5.3 až 5.5 dizertační práce.

## 5.3 VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM DLE VYBRANÝCH TESTOVÝCH SITUACÍ METODIKY CIE 171: 2006

---

V roce 2006 byla vydána metodika CIE 171:2006 [6], 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. S ohledem na výpočetní modely použité v programu Daysim a zaměření dizertační práce je ověření přesnosti hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim vhodné pomocí metodiky CIE 171:2006 [6] provést pro rovnoměrně zataženou oblohu CIE 16 v rámci testových situací 5.9 až 5.14. Základní popis uvedených testových situací je uveden



v tab. 5.3.1, podrobně jsou tyto testové situace popsány v dizertační práci a v samotné metodice CIE 171: 2006 [6].

Tab. 5.3.1: Základní charakteristika testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 (sestaveno autorem podle CIE 171: 2006 [6], obrázky převzaty z [6])

testová situace	popis	schéma místnosti
5.9 až 5.14	místnost čtvercového půdorysu 4 m × 4 m, světlá výška 3 m; činitel odrazu světla všech vnitřních povrchů 0,00; terén s jednotným jasem a činitelem odrazu světla od terénu 0,30	-
5.9, 5.10	osvětlovací otvor ve stropě, tloušťka ostění 0 mm varianta V1: osvětlovací otvor rozměru 1 m × 1 m; varianta V2: osvětlovací otvor rozměru 4 m × 4 m; varianta 5.9 bez zasklení; varianta 5.10 zasklení čirým sklem tloušťky 6 mm; bez stínících překážek	
5.11, 5.12	osvětlovací otvor ve stěně varianta V1: osvětlovací otvor rozměru 2 m × 1 m (parapet 1 m); varianta V2: osvětlovací otvor rozměru 4 m × 3 m (bez parapetu); varianta 5.11 bez zasklení; varianta 5.12 zasklení čirým sklem tloušťky 6 mm; bez stínících překážek	
5.13, 5.14	osvětlovací otvor bez zasklení ve stěně, rozměry osvětlovacího otvoru: 2 m × 1 m (parapet 1 m); stínící překážky s jednotným jasem (činitel odrazu světla překážek neuveden) 5.13: horizontální překážka – spodní líc překážky umístěn 1 m nad nadpražím okna, délka horizontální překážky činí 0,5 m (varianta V1), 1,0 m (varianta V2), 2,0 m (varianta V3); 5.14: vertikální překážka ve vzdálenosti 6 m od hodnocené místnosti, výška vertikální překážky činí 3 m (varianta V1), 6 m (varianta V2), 9 m (varianta V3).	

Pro testové situace 5.9 – 5.14 je v metodice CIE 171: 2006 [6] uvedeno celkem 192 referenčních hodnot činitele denní osvětlenosti pro oblohu CIE 16. Validaci programu Daysim podle testových situací 5.9 až 5.14 metodiky CIE 171: 2006 [6] však bylo z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16 možné provést pouze v 66 bodech z celkových 192 z důvodů uvedených v tab. 5.3.2. Podrobně jsou validace dle testových situací popsány v samotné dizertační práci v kapitole 5.3. **Pro těchto 66 referenčních hodnot se 62 vypočtených hodnot činitele denní osvětlenosti (tj. 93,94 %) lišilo od hodnot referenčních do ±5 % a pouze jedna vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti se s hodnotou referenční neshodovala o více než 10 %.**

Podle čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [14] by měly být programy pro výpočet denního osvětlení validovány, přičemž se tato norma odkazuje právě na metodiku CIE 171: 2006 [6]. Z výše uvedeného textu je však zřejmé, že **pro mnohé dnes používané světelně simulační programy je aplikovatelnost metodiky CIE 171: 2006 [6] velmi omezená z hlediska oblohové i vnější odražené složky.** Ověření výpočtu vnitřní odražené složky denního osvětlení je pak možné pomocí testových situací 5.6 a 5.7 metodiky CIE 171: 2006 [6], ale pouze v případě, že program umožňuje provést výpočet pouze pro přímé sluneční světlo s vyloučením difúzního oblohového světla.

Tab. 5.3.2: 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	hodnocený 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).**

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

Měření na modelu bylo realizováno ve dnech 28. 2. 2016, 4. 11. 2016 a 18. 11. 2017 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 samolepícími fóliemi a vnější povrchy modelu byly opatřeny PVC fóliemi. 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.



Pohled do měřicí místnosti modelu



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

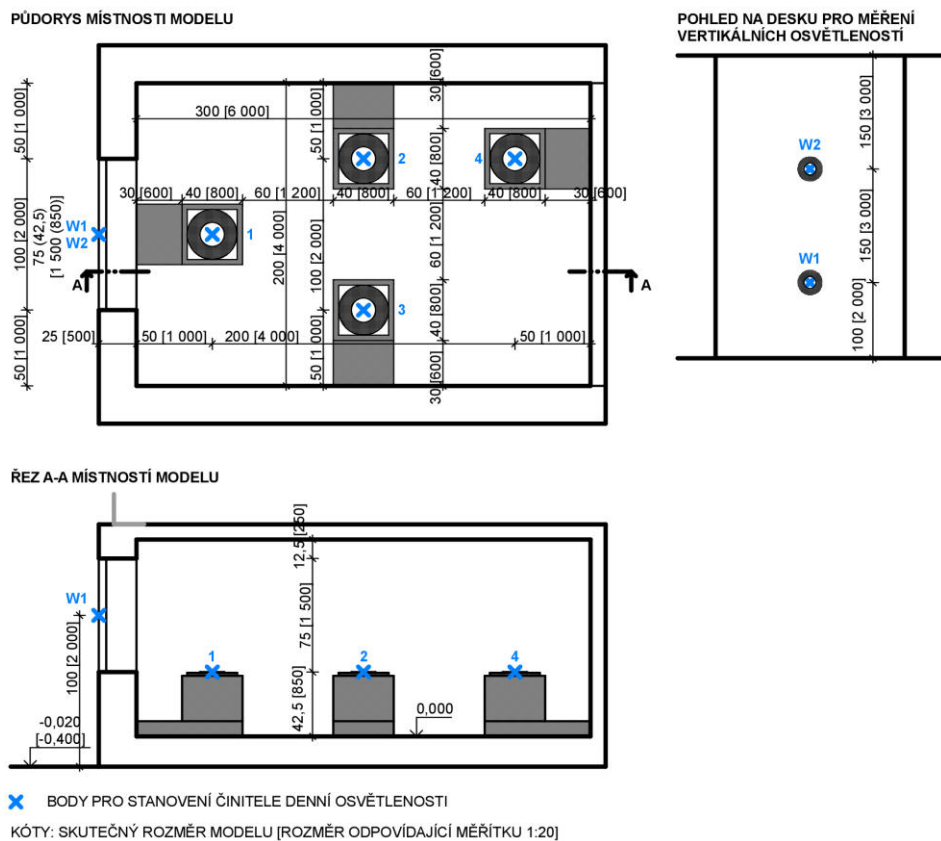
Obr. 5.4.1 Fotografie z měření na modelu (autor)

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 [13]. 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:

- 1) souvislá vertikální překážka vysoká 8 m a široká 14 m ve vzdálenosti 7 m od místnosti;
- 2) souvislá vertikální překážka vysoká 8 m a široká 14 m ve vzdálenosti 12 m od místnosti;
- 3) souvislá horizontální překážka s vyložení 2 m a šířkou 14 m umístěná nad oknem ve výšce 2,75 m nad podlahou místnosti;
- 4) čtvercový vnitroblok výšky 8 m s délkou vnitřní strany 12 m.

Ve všech způsobech zastínění byla místnost stíněna symetricky. U každého způsobu zastínění byla provedena měření pro dvě varianty činitelů odrazu světla od venkovních překážek a tři varianty činitelů odrazu terénu mezi hodnocenou místností a překážkou. Celkově tak bylo pro každý způsob zastínění uvažováno 6 kombinací venkovních povrchů, které jsou uvedeny a popsány v kapitole 5.4.2 dizertační práce.

Měřicí místnost byla navržena obdélníkového půdorysu – viz obr. 5.4.2. Osvětlovací otvor měřicí místnosti byl vyplněn jednoduchým čirým sklem, jehož světelná propustnost byla stanovena přístrojem Pocket Detective 2.1. Světlo nepropustné povrchy měřicí místnosti modelu byly opatřeny samolepícími matnými fóliemi s difúzním povrchem s hodnotami činitele odrazu světla blízkým hodnotám uvedeným pro podlahu, strop a stěny v čl. 4.6.3 normy ČSN 73 0580-1 [7]. V měřicí místnosti byla čidla umístěna v boxech polepených černou fólií. Hodnoty činitelů odrazu světla fólií pro vnitřní i vnější povrchy byly stanoveny pomocí spektrofotometru Konica Minolta CM-5. S ohledem na rozměry modelu představovala čidla pro měření denních osvětleností nezanedbatelnou vnitřní překážku, jejíž hodnoty činitelů odrazu světla byly stanoveny odborným odhadem. Konkrétní hodnoty činitele odrazu světla povrchů modelu jsou uvedeny v kapitole 5.4.1 a 5.4.2 dizertační práce.



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

Pro měření jasů oblohy a denních osvětleností byly použity přístroje, které byly v době zpracování dizertační práce dostupné na Ústavu pozemního stavitelství VUT v Brně. Jasy oblohy byly stanoveny pomocí bodového jasoměru Gossen Mavo-Spot 2. V rámci měření na modelu byly stanoveny měřením referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti ve 4 bodech horizontální roviny a v 1 až 2 bodech ve vertikální rovině, přičemž bylo použito 5 čidel Ahlborn FLA623VL společně s datalogery Ahlborn Almemo 2590-4S.

Referenční hodnoty byly zjištěny pomocí dvou platných měření. V každém z těchto měření bylo stanoveno celkově 138 referenčních hodnot (96 referenčních hodnot pro horizontální rovinu a 42 referenčních hodnot pro vertikální rovinu). Tyto referenční hodnoty byly následně porovnány s hodnotami stanovenými výpočty v programu Daysim (viz kapitola 5.4.7 v dizertační práci). **Pro body v horizontální rovině bylo pro vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti dosaženo relativní chyby v intervalu <math><-10\%></math>; 10 %) pro 139 referenčních hodnot (tj. 72,4 %) a relativní chyby v intervalu <math><-15\%></math>; 15 %) pro 191 referenčních hodnot (tj. 99,5 %).** U bodů ve vertikální rovině se všechny vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti od hodnot referenčních nelišily o více než  $\pm 10\%$ . 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 % (např. [16]; [15]; [25]; [29]; [39] str. 67 - 68). **Hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim je tedy možné z hlediska relativní chyby vypočtených hodnot považovat za akceptovatelné pro použití programu v rámci analýzy denního osvětlení zastíněných budov.**

## 5.5 VALIDOVÁNÍ PROGRAMU DAYSIM Z HLEDISKA VÝPOČTU ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI POMOCÍ MĚŘENÍ IN-SITU

---

Pomocí měření na modelu byla ověřena shoda hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených měřeními 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 zastíňováno 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 ověřit shodu mezi hodnotami činitele denní osvětlenosti stanovenými měřeními a výpočtem pro místnosti se složitějším zastíněním.

Denní osvětlenosti a jasy byly v rámci měření in-situ měřeny pomocí přístrojů, které byly v době měření k dispozici na Ústavu pozemního stavitelství VUT v Brně. Jasy oblohy, vnitřních a vnějších povrchů byly stanoveny pomocí bodových jasoměrů Konica Minolta LS 100 nebo Gossen Mavo-Spot 2. Osvětlenosti v interiéru byly měřeny pomocí 4 čidel Ahlborn FLA623VL zapojených do dataloggeru Ahlborn Almemo 2590-4S. Osvětlenost horizontální nezastíněné roviny v exteriéru byla měřena pomocí jednoho čidla Ahlborn FLA623VL společně s dataloggerem Ahlborn Almemo 2590-4S. Podrobně jsou měření popsána v kapitole 5.5 dizertační práce.

Při měření in-situ bylo nutné stanovit světelně technické vlastnosti vnitřních a venkovních povrchů, aby bylo možné porovnat hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené měřeními in-situ s hodnotami stanovenými výpočtem v programu Daysim. Stanovení světelné odrazivosti vnitřních a vnějších povrchů bylo provedeno dle metodiky popsané v čl. 4.7.1 normy ČSN 36 0011-1 [12] pomocí jasu etalonu a měřeného povrchu. Prostup světla zasklením okna byl stanoven dle čl. 4.6.5.1 normy ČSN 360011-2 [13] na základě jasu pozadí při zavřeném a otevřeném okně. Stanovení činitele prostupu světla pro stínící konstrukce nebo zařízení místnosti zasklené jedním čirým sklem bylo provedeno přístrojem Pocket Detective 2.1.

### 5.5.1 Měření in-situ: Místnost ve Žďáru nad Sázavou

---

Měření in-situ v místnosti rodinného domu ve Žďáru nad Sázavou proběhla dne 15. 3. 2015 a 18. 12. 2015. Dispozice a umístění místnosti jsou zobrazeny na obr. 5.5.1 a podrobně jsou místnost a její zastínění popsány v kapitole 5.5.2 dizertační práce. Měření denních osvětleností bylo provedeno pro dvě varianty zastínění okna hodnocené místnosti: 1) bez zastínění horizontální překážkou nad oknem; 2) zastínění 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. Změřené jasy oblohy a denních osvětleností jsou uvedeny v příloze č. 12.5 dizertační práce. Pro platná měření byly pro všechny varianty stanoveny referenční hodnoty činitele denní osvětlenosti, hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim a hodnotícími kritéria (viz kapitola 5.5.2.5 dizertační práce).





výpočty a měření v bodech horizontální roviny lze tedy považovat za akceptovatelný. Ve vertikální rovině jsou vypočtené hodnoty činitele denní osvětlenosti vyšší maximálně o 9,07 %.

### 5.5.2 Měření in-situ: Kancelář v Brně

---

Druhé měření in-situ 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 jsou zobrazeny z obr. 5.5.1 a podrobně je místnost a její zastínění popsána v kapitole 5.5.3 dizertační práce. 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. Měření stanovené hodnoty jasů oblohy a denních osvětleností jsou uvedeny v příloze č. 12.5.3 dizertační práce. Pro každé z obou platných měření bylo v tab. 5.5.7 v dizertační práci stanoveno šest referenčních hodnot činitele denní osvětlenosti v horizontální rovině, jedna referenční hodnota ve vertikální rovině. V této tabulce jsou také uvedeny hodnoty činitele denní osvětlenosti stanovené v programu Daysim a vyčíslena hodnotící kritéria.

V horizontální rovině (referenční body 1 až 6) je vypočtená hodnota činitele denní osvětlenosti oproti referenční hodnotě relativně nižší maximálně o 10,18 %. Ve vertikální rovině relativní chyba referenční a vypočtené hodnoty v bodě W činí maximálně 4,87 %.

### 5.5.3 Shrnutí vyhodnocení validace pomocí měření in-situ

---

Na základě provedené literární rešerše (např. [15]; [16]; [25]; [29]; [39] str. 67 - 68) lze u měření in-situ ve Žďáru nad Sázavou i v Brně považovat **přesnost hodnot činitele denní osvětlenosti stanovených v programu Daysim za akceptovatelnou i pro hodnocené složitější zastíňovací situace.**

## 6 ANALÝZA DENNÍHO OSVĚTLENÍ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

---

### 6.1 STANOVENÍ CHARAKTERISTICKÝCH ZPŮSOBŮ ZASTÍNĚNÍ

---

Stínění vnitřních prostorů venkovními překážkami je velmi různorodé. Pro analýzu denního osvětlení 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. 6.1.1 A), výška překážky dle tab. 6.1.2;
- I.2) souvislá vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od průčelí hodnocené budovy (např. řadová zástavba) – schéma zastínění dle obr. 6.1.1 A), výška překážky dle tab. 6.1.2;
- II.1) souvislá horizontální překážka umístěná 0,25 m nad nadpražím okna hodnocené místnosti (např. průběžný balkon) – schéma zastínění dle obr. 6.1.1 B), délka překážky dle tab. 6.1.3;

- III.1) čtvercový vnitroblok výšky 10 m – schéma zastínění dle obr. 6.1.1 C), délka vnitřní strany vnitrobloku dle tabulky tab. 6.1.4;
- III.2) čtvercový vnitroblok výšky 20 m – schéma zastínění dle obr. 6.1.1 C), délka vnitřní strany vnitrobloku dle tabulky tab. 6.1.4;
- III.3) čtvercový vnitroblok výšky 30 m – schéma zastínění dle obr. 6.1.1 C), délka vnitřní strany vnitrobloku dle tabulky tab. 6.1.4;
- IV) místnost bez stínění – schéma dle obr. 6.1.1 D).

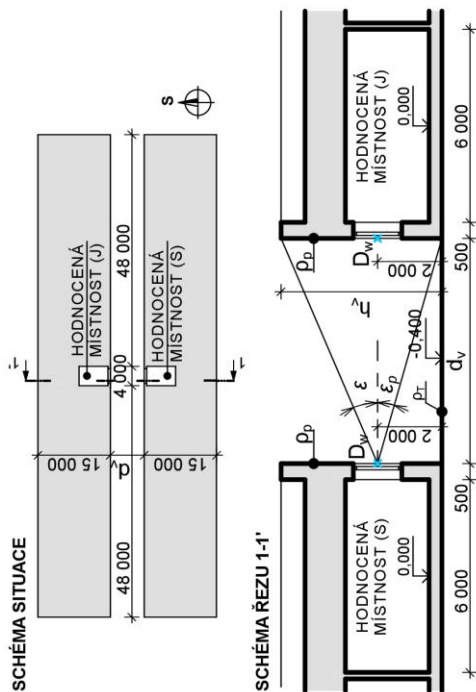
Denní osvětlení zastíněných místností je však z hlediska exteriéru ovlivněno nejen polohou stínících překážek, ale také světelně technickými vlastnostmi venkovních povrchů (např. činitel odrazu světla od překážky a od terénu). Pro jednotlivé způsoby zastínění je tak uvažováno 6 modelů zastínění, které se vzájemně liší kombinacemi činitelů odrazu světla od venkovních povrchů dle tab. 6.1.1. Hodnoty činitelů odrazu světla od překážky  $\rho_p$  byly stanoveny na základě čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [14]. Použité hodnoty činitele odrazu světla od terénu  $\rho_T$  vychází z čl. A.20 normy ČSN 73 0580-1 [8] a z čl. B.3.1 normy ČSN EN 17037 [14]. Veškeré povrchy jsou uvažovány jako difúzní.

Tab. 6.1.1: Modely zastínění I.1.Aa – I.2.Cb pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov (autor)

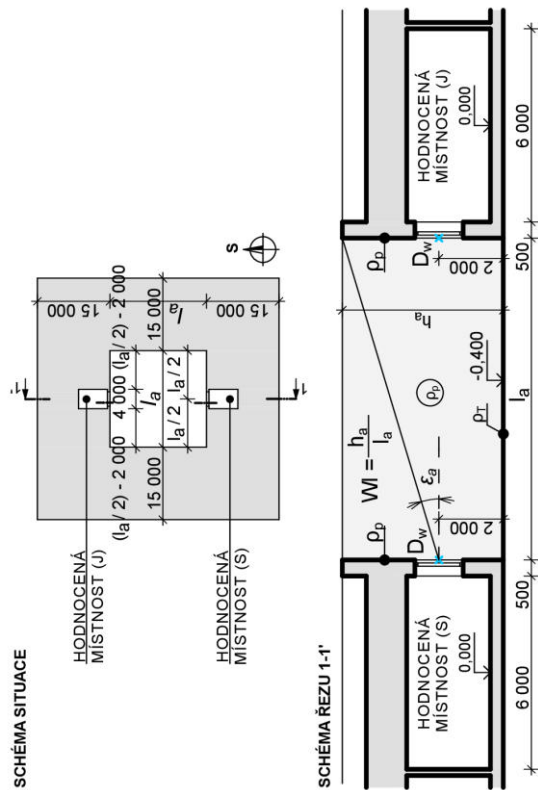
způsob zastínění	terén	označení modelu zastínění		
		venkovní překážky, průčelí budov		
		A) $\rho_p = 0,20$	B) $\rho_p = 0,30$	C) $\rho_p = 0,40$
I.1) vertikální překážka před oknem ve vzdálenosti 7 m (obr. 6.1.1 A), tab. 6.1.2, obr. 6.2.1)	a) $\rho_T = 0,10$	I.1.Aa	I.1.Ba	I.1.Ca
	b) $\rho_T = 0,20$	I.1.Ab	I.1.Bb	I.1.Cb
II.1) vertikální překážka před oknem ve vzdálenosti 20 m (obr. 6.1.1 A), tab. 6.1.2, obr. 6.2.1)	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. 6.1.1 B), tab. 6.1.3, obr. 6.2.1)	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. 6.1.1 C), tab. 6.1.4, obr. 6.2.1)	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. 6.1.1 C), tab. 6.1.4, obr. 6.2.1)	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. 6.1.1 C), tab. 6.1.4, obr. 6.2.1)	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



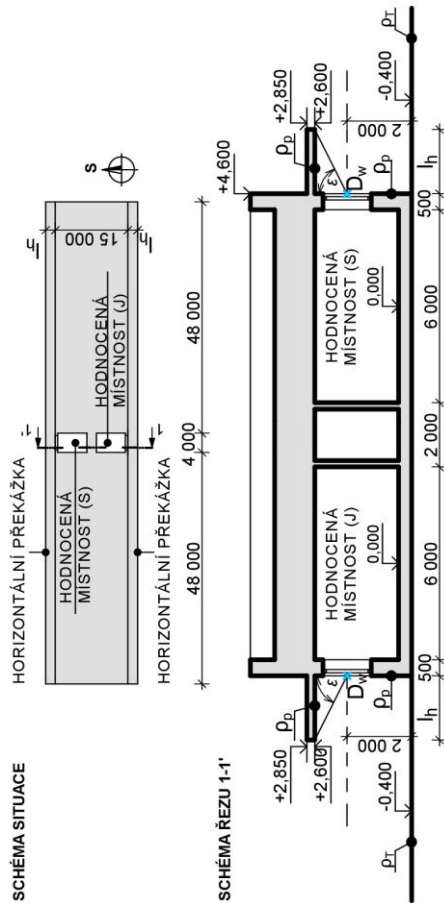
A) Souvislá vertikální překážkou před oknem pro způsob zastínění I.1, I.2



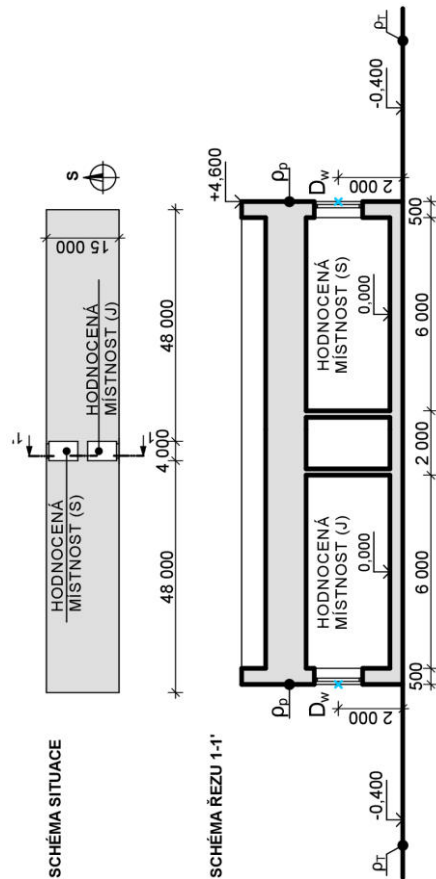
C) Čtvercový vnitřní blok – způsob zastínění III.1, III.2, III.3



B) Souvislá horizontální překážkou nad oknem pro způsob zastínění II.1



D) Bez stínění – způsob zastínění IV



**Poznámka:**

Způsob zastínění I.1, I.2 – rozměry  $h_v$  a  $d_v$  dle tab. 6.1.2; způsob zastínění II.1 – rozměr  $h_h$  dle tab. 6.1.3; způsob zastínění III.1 – III.3 – rozměry  $h_a$  a  $l_a$  dle tab. 6.1.4. Půdorys hodnocené místnosti viz obr. 6.2.1. S – sever, J – jih

Obr. 6.1.1 Schéma situace a řezu zastínění hodnocené místnosti (autor)

Tab. 6.1.2: Výšky souvislé vertikální překážky pro způsoby zastínění I.1, I.2 (autor)

úhel stínění $\varepsilon$ [°]		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

Tab. 6.1.3: Délky souvislé horizontální překážky 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 $\varepsilon$ [°]	14,0	26,6	36,9	45,0	51,3	56,3	60,3	63,4	68,2	71,6	76,0	78,7

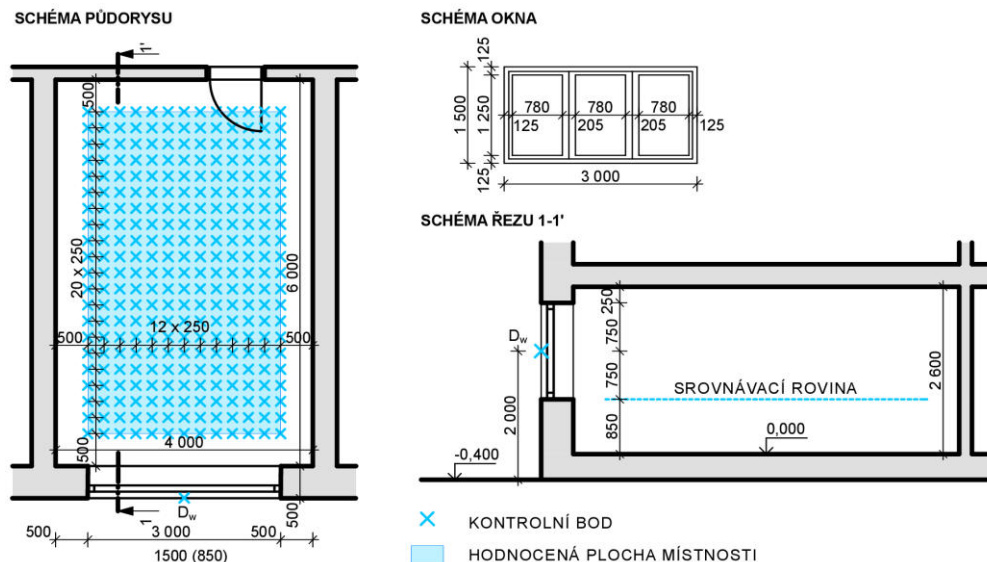
Tab. 6.1.4: Délky vnitřní strany čtvercového vnitrobloku pro způsob zastínění III.1 – III.3 (autor)

index atria $WI$ [-] <sup>1)</sup>		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: 1) Index atria  $WI$  [-] se vypočte:  $WI = h_a / l_a$

## 6.2 NÁVRH MÍSTNOSTI PRO ANALYZOVÁNÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ UVNITŘ ZASTÍNĚNÝCH BUDOV

Na základě rešerše zdrojů [21], [37], [38], [39] a poznatků z praxe byla pro analýzu denního osvětlení zastíněných budov navržena **místnost rozměrů: šířka 4 m, hloubka 6 m, světlá výška 2,6 m** (viz obr. 6.2.1). Průměrné hodnoty činitele odrazu světla  $\rho$  [-] 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  $\rho = 0,70$ .



Obr. 6.2.1 Schéma půdorysu a řezu hodnocené místnosti a umístění kontrolních bodů (autor)

Zasklení okna je uvažováno se světelnou propustností 0,7, 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). Rozmístění kontrolních bodů je zřejmé z obr. 6.2.1. Pro stanovení hladin

osvětleností ve smyslu ČSN EN 17037 [14] je předpokládáno, že se místnost 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.

### 6.3 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]). Ze dříve publikovaného článku [17] i z provedených měření na modelu však 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 **analýzou denního osvětlení uvnitř zastíněných místností v závislosti na hodnotě činitele denní osvětlenosti  $D_w$** . Denní osvětlení uvnitř místnosti bude hodnoceno pomocí kritérií:

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

Podrobněji jsou hodnotící kritéria popsána v kapitole 7.3 dizertační práce.

### 6.4 SIMULACE DENNÍHO OSVĚTLENÍ

---

Simulace denního osvětlení byly provedeny v programu Daysim pro parametry výpočtu uvedené v tab. 5.1.1. 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 [34]. Jednotlivé způsoby zastínění byly vymodelovány v programu SketchUp [18] a geometrie byla exportována do programu Daysim pomocí doplňku programu SU2DS [23]. V rámci jedné simulace byly současně provedeny výpočty pro místnost se severně i jižně orientovaným oknem. Pro dynamické simulace denního osvětlení byla použita klimatická data pro **Prahu** dostupná v rámci databáze programu EnergyPlus [42]. Dynamické simulace byly provedeny pro celý rok s časovým krokem 20 minut.

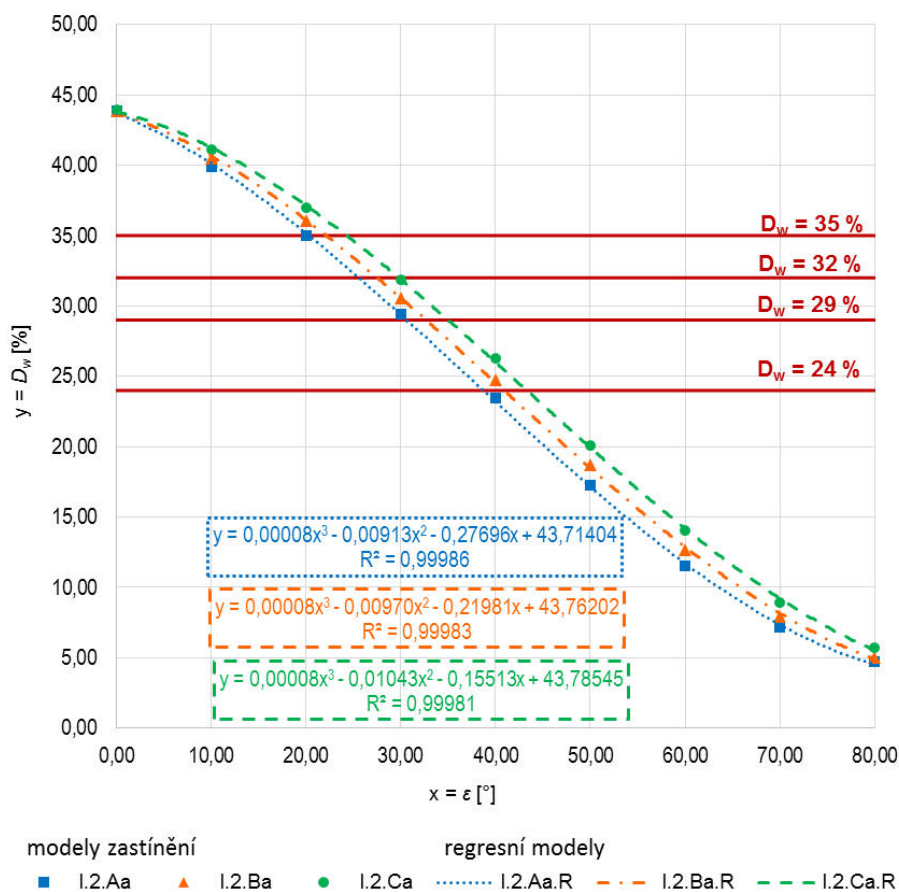
### 6.5 VÝSLEDKY SIMULACÍ DENNÍHO OSVĚTLENÍ PRO NAVRŽENÉ MODELY ZASTÍNĚNÍ

---

Pro jednotlivé modely zastínění jsou v příloze 12.6 dizertační práce uvedeny hodnoty hodnotících kritérií  $D_w$ ,  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 0,7 \%}$  a  $F_{point, 2,0 \%}$ .

## 6.6 ZÁVISLOST Činitele denní osvětlenosti $D_w$ NA KRITÉRIU POPISUJÍCÍM STÍNĚNÍ PŘEKÁŽKOU

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 převážné většině dnes používaných programů pro výpočet denního osvětlení budov jsou světelné technické vlastnosti povrchů definovány pomocí činitele odrazu světla místo činitele jasu. Rovněž norma ČSN EN 17037 [14] 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  $D_w$  pro vybrané typy stínících překážek a pro vybrané hodnoty činitele odrazu světla od překážky a terénu.



### Poznámky:

- vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od budovy s hodnocenou místností dle obr. 6.1.1 A), 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 terénem;
- označení modelů zastínění dle tab. 6.1.1; činitel odrazu světla od terénu  $\rho_T = 0,10$ , průměrná hodnota činitele odrazu světla od průčelí překážky i budovy s hodnocenou místností  $\rho_p = 0,20$  (model zastínění I.2.Aa, regresní model I.2.Aa.R),  $\rho_p = 0,30$  (model zastínění I.2.Ba, regresní model I.2.Ba.R) a  $\rho_p = 0,40$  (model zastínění I.2.Ca, regresní model I.2.Ca.R)

Obr. 6.6.1 Diagram závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D_w$  na úhlu stínění  $\varepsilon$  pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Ca (autor)

Pro jednotlivé způsoby zastínění hodnocené místnosti byly na základě hodnot činitele denní osvětlenosti  $D_w$  uvedených v příloze 12.6 dizertační práce a za využití regrese polynomem 3. stupně sestaveny diagramy závislosti hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D_w$  na parametru charakterizujícím zastínění danou překážkou (tj. úhel stínění  $\varepsilon$  pro způsoby zastínění I.1, I.2, II.1 a index atria  $WI$  pro způsob zastínění III.1 až III.3). Součástí diagramů jsou také rovnice polynomicke regrese polynomem 3. stupně společně s koeficientem determinace  $R^2$ . Na základě sestavených diagramů je pro modely zastínění I.1.Aa až III.3.Cb možné stanovit hodnotu činitele denní osvětlenosti v bodě umístěném ve výšce 2 m nad přilehlým terénem. Diagramy pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Ca jsou uvedeny na obr. 6.6.1, ostatní diagramy jsou uvedeny v dizertační práci. 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.**

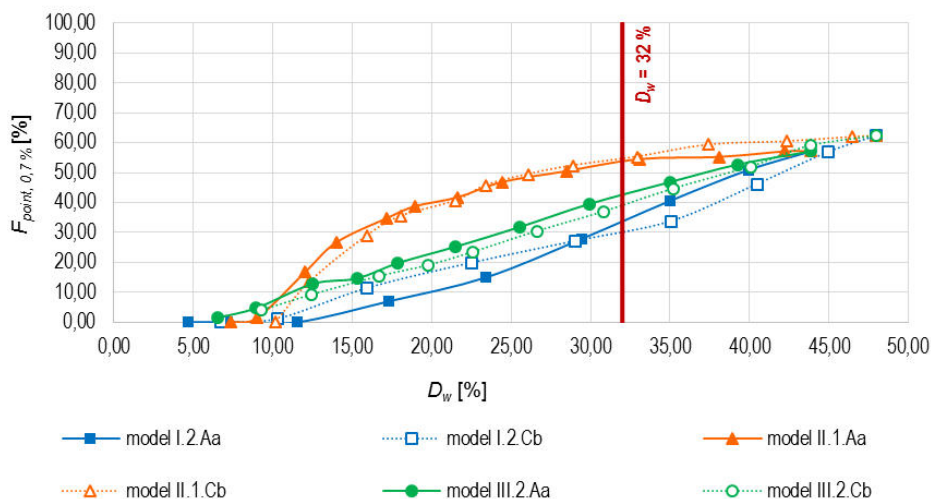
Z výsledků simulací denního osvětlení, které jsou uvedeny v příloze 12.6 dizertační práce a z diagramů na obr. 7.6.1 až 7.6.12 v dizertační práci pro jednotlivé stínící překážky vyplývá mimo jiné následující týkající se hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D_w$ :

- Vliv činitele odrazu světla od překážky na hodnotu činitele denní osvětlenosti  $D_w$  je pro hodnocené způsoby zastínění patrný zejména u vertikální překážky a vnitrobloků.
- Zvýšení činitele odrazu světla od terénu se projevilo u všech hodnocených způsobů zastínění zřetelným nárůstem činitele denní osvětlenosti  $D_w$ .

## 6.7 REGRESNÍ MODELY ZÁVISLOSTI KRITÉRIÍ PRO HODNOCENÍ PŘÍSPĚVKU DENNÍHO SVĚTLA V MÍSTNOSTI NA HODNOTĚ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI $D_w$

Na základě komparativní analýzy závislosti kritérií  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 0,7 \%}$ ,  $F_{point, 2,0 \%}$  na hodnotě činitele denní osvětlenosti  $D_w$  v kapitolách 7.7 – 7.9 dizertační práce bylo zjištěno (pro ilustraci uveden graf na obr. 6.7.1):

- 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.
- Pro stejný typ překážky v rámci jednotlivých porovnávaných dvojic modelů zastínění I.2.Aa a I.2.Cb; II.1.Aa a II.1.Cb; III.2.Aa a III.2.Cb se při shodné hodnotě činitele denní osvětlenosti  $D_w$  pohybují pro danou dvojici 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 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  $D_w$ .



**Poznámka:**

Označení modelů zastínění dle tab. 6.1.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 6.2.

Obr. 6.7.1 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)

Na základě těchto zjištění jsou pro způsoby zastínění vybrané pro analýzu denního osvětlení uvnitř hodnocené místnosti (viz kapitola 7.7 dizertační práce) sestaveny regresní modely závislosti sledovaných kritérií na hodnotě činitele denní osvětlenosti  $D_w$ . Pro analyzované způsoby zastínění byla **pro hodnocenou místnost vyjádřena 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  $D_w$  pomocí regrese polynomem 3. stupně**. Rovnice regresí jsou uvedeny v grafech na až obr. 7.10.1 – 7.10.6 obsažených v dizertační práci 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. Pro ilustraci uveden graf na obr. 6.7.2. V grafech na obr. 7.10.1 – 7.10.6 obsažených v dizertační práci jsou uvedeny regresní rovnice s přesností na 5 desetinných míst, přičemž při tomto počtu desetinných míst lze **pomocí těchto rovnic stanovit hodnoty sledovaných kritérií pro hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D_w$  od 15 % do 40 % včetně**.

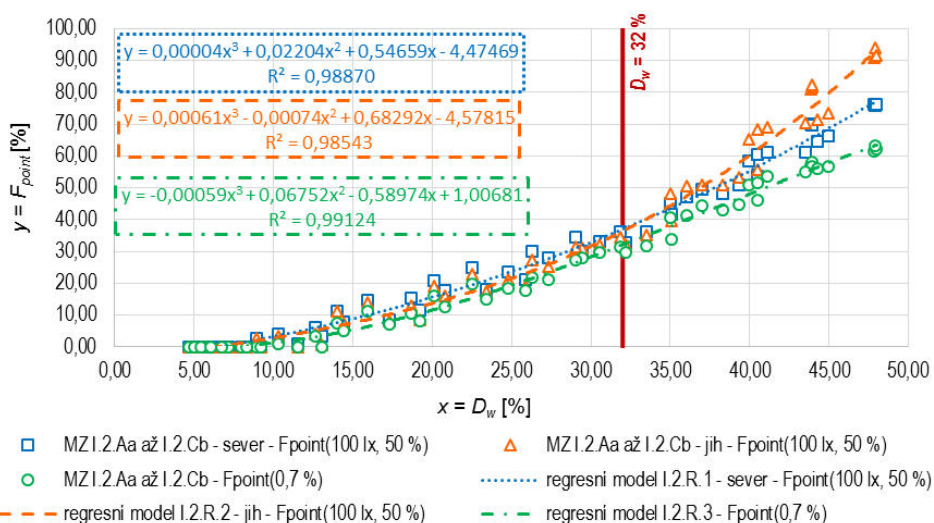
Ověření použití regresních modelů bylo provedeno v kapitole 7.10.2 dizertační práce pomocí porovnání hodnot kritérií  $F_{point, 100\text{ lx}, 50\%}$ ,  $F_{point, 0,7\%}$ ,  $F_{point, 300\text{ lx}, 50\%}$  a  $F_{point, 2,0\%}$  stanovených pro hodnocenou místnost pomocí regresních modelů a pomocí světlených simulací v rozsahu hodnot  $D_w$  od 15 % do 40 %. 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 vyhodnocení dostupnosti denního osvětlení 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 způsoby zastínění použitými pro sestavení regresních modelů.



Tab. 6.7.1: Popis regresních modelů pro vybrané způsoby zastínění (autor)

regresní model	kritérium závislé na hodnotě $D_w$	orientace okna místnosti	graf	popis
I.2.R.1	$F_{point, 100 lx, 50 \%}$ [%]	sever	obr. 6.7.2	vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené místnosti (schéma dle obr. 6.1.1, hodnocená místnost dle kapitoly 6.2), regresní modely sestaveny z dat pro modely zastínění I.2.Aa až I.2.Cb v příloze 12.6 dizertační práce
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		
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 v dizertační práci	horizontální překážka nad oknem hodnocené místnosti (schéma dle obr. 6.1.1, hodnocená místnost dle kapitoly 6.2), regresní modely sestaveny z dat pro modely zastínění II.1.Aa až II.1.Cb v příloze 12.6 dizertační práce
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		
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 v dizertační práci	čtvercový vnitroblok výšky 20 m (schéma dle obr. 6.1.1, hodnocená místnost dle kapitoly 6.2), regresní modely sestaveny z dat pro modely zastínění III.2.Aa až III.2.Cb v příloze 12.6 dizertační práce
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		
III.2.R.5	$F_{point, 300 lx, 50 \%}$ [%]	jih		
III.2.R.6	$F_{point, 2,0 \%}$ [%]	-		



#### Poznámka:

Označení modelů zastínění (MZ) dle tab. 6.1.1. Hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 6.2. Popis regresních modelů viz tab. 6.7.1.

Obr. 6.7.2 Regresní modely I.2.R – závislost kritérií  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$  a  $F_{point, 0,7 \%}$  na hodnotě činitele denní osvětlenosti  $D_w$  pro vertikální překážku před oknem (autor)

## 6.8 POROVNÁNÍ KVANTA DENNÍHO SVĚTLA V MÍSTNOSTI STANOVENÉHO POMOCÍ HLADIN OSVĚTLENOSTÍ A POMOCÍ ČINITELE DENNÍ OSVĚTLENOSTI

Za využití regresních funkcí uvedených v dizertační práci na obr. 7.10.1 – 7.10.6 byly pro jednotlivé analyzované typy stínících překážek v hodnocené místnosti uvažované dle

kapitoly 6.2 vyčísleny v tab. 6.8.1 hodnoty kritérií  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 0,7 \%}$ ,  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$  a  $F_{point, 2,0 \%}$  v závislosti na činitele denní osvětlenosti  $D_w$  v rozsahu hodnot 15 % až 40 %.

Tab. 6.8.1: Hodnoty kritérií  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 0,7 \%}$ ,  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$  a  $F_{point, 2,0 \%}$  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
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  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 0,7 \%}$  a  $F_{point, 2,0 \%}$  jsou stanoveny pomocí regresních funkcí pro příslušné modely zastínění uvedené v grafech na obr. 7.10.1 – 7.10.6 v dizertační práci.
- Popis regresních modelů uveden v tab. 6.7.1, hodnocená místnost uvažována dle popisu v kapitole 6.2.

Pro splnění **minimální cílové hodnoty příspěvku denního světla v prostoru** podle ČSN EN 17037 [14] je pro minimální doporučenou úroveň požadováno splnění 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. Kromě minimální cílové hodnoty příspěvku denního světla v prostoru se dle ČSN EN 17037 [14] 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.

Z hodnot sledovaných kritérií v tab. 6.8.1 a jejich vzájemného porovnání vyplývá, 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  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$  a  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ , 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  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ . Pokud kritérium  $F_{point, 2,0 \%}$  bylo při shodné hodnotě  $D_w$  vyšší**



než kritérium  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$ , jednalo se dle sestavených regresních modelů o rozdíly **menší než jeden procentní bod**.

Pro 53 ze 72 (tj. 73,6 %) analyzovaných porovnání hodnot kritérií  $F_{point, 0,7 \%}$ ,  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$ ,  $F_{point, 2,0 \%}$  a  $F_{point, 300 lx, 50 \%}$  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 [14] jeví pro většinu analyzovaných zastiňovacích situací ekvivalentní cílové a minimální cílové hladině osvětlenosti.** Avšak v rámci analyzovaných situací byl u jižně orientované místnosti s horizontální překážkou nad oknem pomocí denních osvětleností stanoven také až o 26,69 p. b. vyšší podíl vyhovujících kontrolních bodů než při hodnocení pomocí činitele denní osvětlenosti (viz tab. 6.8.1 kritérium  $F_{point, 0,7 \%}$  – regresní model II.1.R.3 a  $F_{point, 100 lx, 50 \%}$  – regresní model II.1.R.2).

## 7 NÁVRH ÚPRAVY HODNOCENÍ PŘÍSTUPU SVĚTLA K PRŮČELÍ BUDOVY

---

### 7.1 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 přitom 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  $D_w$ .**

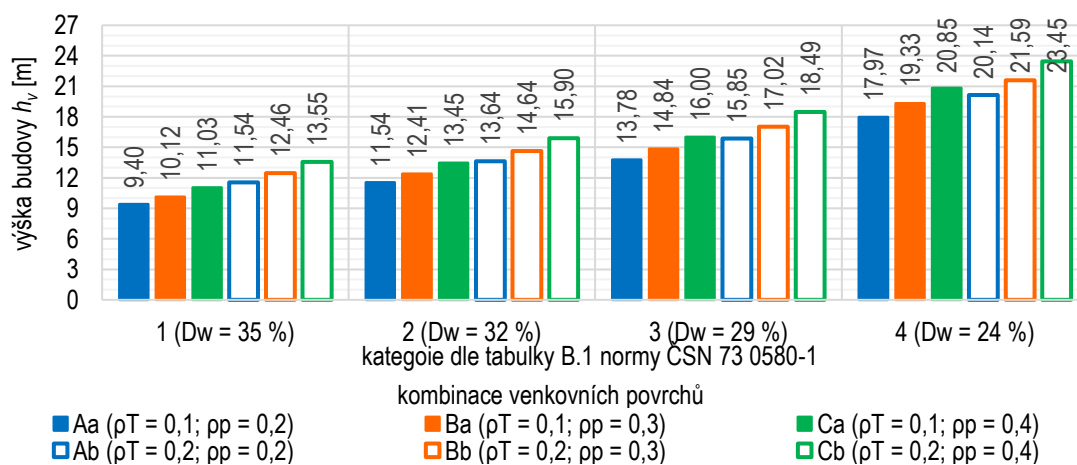
**Návrh 2: Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pomocí činitele denní osvětlenosti  $D_w$  pouze metodou, ve které je vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti stanovena pomocí činitele jasu překážky a terénu.**

**Návrh 3: Hodnocení přístupu světla k průčelí budovy pouze pomocí oblohové složky činitele denní osvětlenosti  $D_{w,s}$  [%].**

## 7.2 ODŮVODNĚNÍ NÁVRHŮ

Odůvodnění výše uvedených návrhů je v kapitole 8.2 dizertační práce provedeno pomocí případových studií, které dokládají vliv vnější odražené složky činitele denní osvětlenosti na maximální výšku souběžné stínící překážky (např. řadová zástavba), na velikost činitele denní osvětlenosti  $D_w$  a na kvantum denního osvětlení uvnitř místnosti. V rámci tezí se pro odůvodnění návrhů vybírá následující:

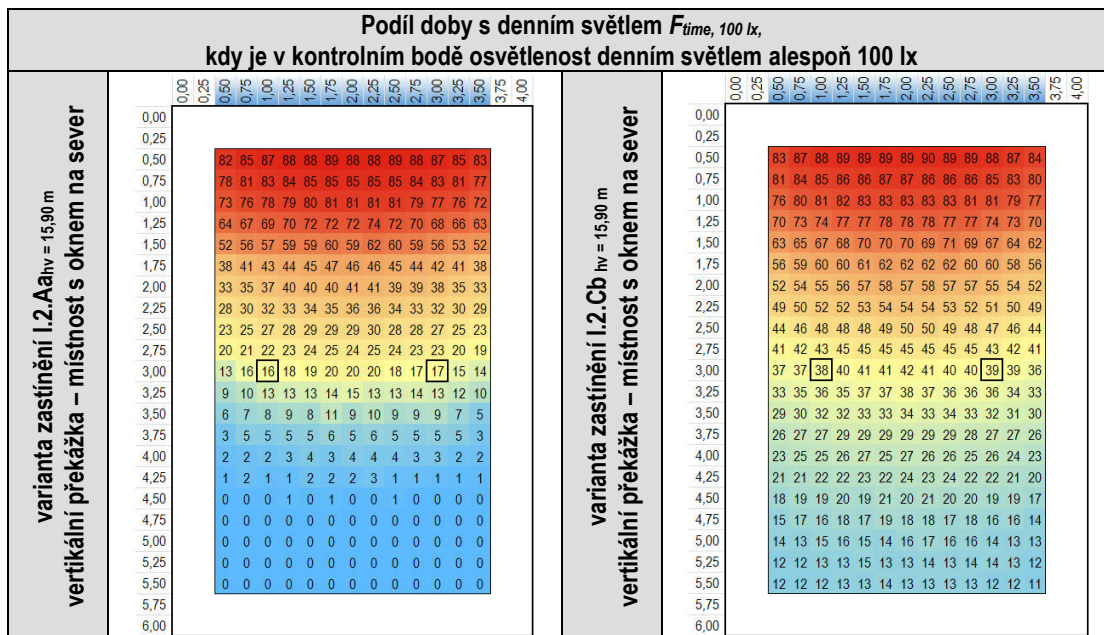
Limitní hodnoty činitele denní osvětlenosti  $D_w$  jsou uvedeny pro čtyři kategorie lokalit a vnitřních prostorů v tabulce B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8]. V grafu na obr. 7.2.1 byly vyčísleny pro kategorie podle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8] maximální možné výšky souběžné vertikální překážky ve vzdálenosti 20 m od budovy s hodnocenou místností při kombinaci různých činitelů odrazu světla od terénu  $\rho_T$  a od překážky  $\rho_p$ . 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 při výšce budovy 11,54 m, ale pro kombinaci Cb při výšce budovy 15,90 m (viz obr. 7.2.1). **Rozdíl v těchto výškách tedy činí 4,36 m**, což představuje více než jedno typické nadzemní podlaží s konstrukční výškou 3 m. Z těchto hodnot a grafu na obr. 7.2.1 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 stávající budovy 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. Souběžná vertikální překážka ve vzdálenosti 20 m od hodnocené budovy uvažována obr. 6.1.1 A).

Obr. 7.2.1 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)

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, kdy může dojít například ke změně barvy fasády. **Není však obvyklé, aby změna barvy fasády ze světlé na tmavou byla dokládána posouzením vlivu na přístup světla k průčelí okolních budov.**



Obr. 7.2.2 Podíl doby s denním světlem  $F_{time, 100 lx}$  v kontrolních bodech místnosti s oknem na sever pro porovnávané varianty zastínění (autor)

Vliv snížení reflektancí venkovních povrchů na denní osvětlení místnosti lze ilustrovat například pro místnost stíněnou budovou výšky 15,9 m v odstupové vzdálenosti 20 m (viz obr. 6.1.1 A), u které dojde ke změně hodnoty činitele odrazu světla od terénu z hodnoty 0,20 (varianta zastínění I.2.Cb<sub>hv</sub> = 15,90 m) na hodnotu 0,10 (varianta zastínění I.2.Aa<sub>hv</sub> = 15,90 m) a současně také ke změně činitele odrazu světla od průčelí budov z hodnoty 0,40 (varianta zastínění I.2.Cb<sub>hv</sub> = 15,90 m) na hodnotu 0,20 (varianta zastínění I.2.Aa<sub>hv</sub> = 15,90 m). Při takovémto snížení činitelů odrazu světla se sníží činitel denní osvětlenosti  $D_w$  z 32,02 % na 26,42 % (tj. pokles o 5,60 p. b., což představuje relativní snížení hodnoty o 17,49 %). Zatímco tedy při vyšších hodnotách činitele odrazu světla od venkovních povrchů byly splněny požadavky na přístup světla k průčelí budovy pro kategorii 2 dle tabulky B.1 normy ČSN 73 0580-1 [8], pro situaci s nižšími hodnotami činitelů odrazu světla je hodnota činitele denní osvětlenosti  $D_w$  nižší než minimální požadovaná hodnota pro kategorii 3. Na obr. 7.2.2 je znázorněno, jak se v důsledku výše popsaného snížení reflektance venkovních povrchů změní v této místnosti při orientaci okna na sever podíl doby s denním světlem  $F_{time, 100 lx}$ , po kterou je v jednotlivých kontrolních bodech uvnitř místnosti dosaženo minimální cílové osvětlenosti 100 lx. V ploše místnosti došlo k poklesu podílu doby s denním světlem  $F_{time, 100 lx}$  až o 22 p. b. Tento pokles podílu doby s denním světlem  $F_{time, 100 lx}$  je nejvíce výrazný od hloubky místnosti 1,75 m. Hodnota osvětlenosti nižší než 100 lx přitom dle průzkumu [31] 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. **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 činitelů odrazu světla venkovních povrchů zpracovateli posouzení v důsledku normativně nestanovené jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od terénu a jedné konkrétní hodnoty činitele odrazu světla od venkovních překážek.**

### 8.1 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. [1]; [15]; [16]; [25]; [29]; [39] 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 dizertační práce).

Pro validaci programu Daysim z hlediska výpočtu činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze CIE 16 byly pro **validaci dle metodiky CIE 171: 2006 [6]** použity testové situace 5.9 až 5.14. Z provedené validace programu Daysim, analýzy testových situací a literární rešerše (např. [2], [43], [44], [45]) však vyplynulo, že validaci programu Daysim z hlediska stanovení činitele denní osvětlenosti při obloze CIE 16 bude dle testových situací 5.9 až 5.14 možné provést pouze pro 66 ze 192 referenčních hodnot. V těchto 66 referenčních hodnotách je zahrnuta pouze oblohová složka činitele denní osvětlenosti. Důvody, z jakých nebylo možné provést validaci programu Daysim pro zbývající referenční hodnoty uvedené metodikou CIE 171: 2006 [6] pro testové situace 5.9 až 5.14 při obloze CIE 16, byly shrnuty v tab. 5.3.2. 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 světelně simulační programy. **Pro mnohé dnes používané světelně simulační programy je aplikovatelnost metodiky CIE 171: 2006 [6] velmi omezená z hlediska oblohové i vnější odražené složky. Pro výpočet vnitřní odražené složky činitele denní osvětlenosti při rovnoměrně zatažené obloze metodika CIE 171: 2006 [6] nedefinuje testové situace.**

#### 8.1.1 Přínos pro praxi

---

Přínosem provedené validace pro praxi je **ověření přesnosti programu Daysim při výpočtu hodnot činitele denní osvětlenosti u zastíněných budov**.

#### 8.1.2 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**.

#### 8.1.3 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 [14]. Norma ČSN EN 17037 [14] přitom uvádí, že validaci je možné provést dle metodiky CIE 171: 2006 [6]. Jak bylo uvedeno výše, z hlediska činitele denní osvětlenosti 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 pro validaci 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.

## 8.2 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 [22] 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 různé stínící překážky odlišnou vypovídající hodnotu z hlediska kvanta denního osvětlení uvnitř zastíněné místnosti** (viz zejména kapitoly 6, 7.8 a 7.9 dizertační práce).

Z provedených měření i výpočtů vyplynulo (viz zejména kapitoly 6, 7.6, 8.2.1 a 8.2.2 dizertační práce), 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 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  $D_{w,s}$ .

### 8.2.1 Přínos pro praxi

---

Pro definované způsoby zastínění byly kapitole 7.6 dizertační práce sestaveny **diagramy a regresní modely závislosti činitele denní osvětlenosti  $D_w$  na úhlu stínění  $\varepsilon$**  (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  $\varepsilon$  pouze pro souběžnou překážku před oknem při činiteli jasu  $k_y$  překážky i terénu 0,10. Sestavené diagramy se od diagramu na obrázku B.2 v normě ČSN 73 0580-1 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 [14].

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  $\varepsilon$  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  $\varepsilon$  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 dizertační práce sestaveny samostatně pro vertikální překážku, horizontální překážku a vnitroblok. 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 hladiny osvětlenosti po alespoň 50 % doby s denním světlem (kritéria jsou podrobněji popsána v kapitole 7.3 dizertační práce). **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 příspěvku 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  $\varepsilon$  nebo indexu  $WI$  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 dizertační práce cílová a minimální cílová hodnota činitele denní osvětlenosti stanovené pro Českou republiku v normě ČSN EN 17037 [14] jeví pro většinu analyzovaných zastiňovacích situací ekvivalentní cílové a minimální cílové hodnotě osvětlenosti.**

### 8.2.2 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.

### 8.2.3 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 [14] neobsahuje.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

---

- [1] 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.
- [2] 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/>
- [3] BOUBEKRI, Mohamed. *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*. Amsterdam: Architectural, 2008, 144 s. ISBN 978-075-0667-241.
- [4] BOYCE, Peter, Claudia HUNTER a Owen HOWLETT. *The Benefits of Daylight through Windows*. New York: Lighting Research Center, 2003, 88 s.
- [5] BS 8206-2. *Lighting for Buildings – Part 2: Code of Practice for Daylighting*. London: British Standards Institution, 2008.
- [6] CIE 171: 2006. *Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs*. Vienna: Commission Internationale de l'Eclairage, 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: Český normalizační institut, 2007. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [10] ČSN 73 0580-3. *Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol*. Praha: Český normalizační institut, 1994. Ve znění platném od 1. 9. 2019.
- [11] 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.
- [12] ČSN 36 0011-1. *Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [13] ČSN 36 0011-2. *Měření osvětlení prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [14] ČSN EN 17037. *Denní osvětlení budov*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019. Ve znění platném od 1. 9. 2019.

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] GOOGLE INC. *Google SketchUp 6.4.247*. USA, 2007.
- [19] GRADUATE SCHOOL OF DESIGN – HARVARD UNIVERSITY, CAMBRIDGE. *Daysim 3.1b*. USA, 2010.
- [20] ISO 15469: 2004 / CIE S011 / E:2003. *Spatial Distribution of Daylighting – CIE Standard General Sky*. Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage, 2004
- [21] 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.
- [22] 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**(1), 33-35. ISSN 1212-0812.
- [23] KJENNER, Josh. *SU2DS: SketchUp To Daysim Exporter*. Kanada: Manase Isaac. Dostupné z: <https://code.google.com/archive/p/su2ds/>
- [24] 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
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2018-12-01]. <https://mapy.cz/s/2Bpum>
- [28] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2018-12-01]. <https://mapy.cz/s/jahatezepo>
- [29] 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.
- [30] Microsoft. *Microsoft Excel 2013*. USA, 2013.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.



- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] REINHART, Christoph. *Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design*. Cambridge: Harvard University, 2010, 114 s.
- [41] STN 73 0580-1. *Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky*. Praha: Vydavateľství ÚNM, 1986. Ve znění platném ke dni 1. 11. 2019.
- [42] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. *EnergyPlus*. USA. Dostupné z: <https://energyplus.net/weather>
- [43] 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.
- [44] *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](http://www.dau.ca/ddci/files/Download/ReportonAGI32validationofCIE171_Compiled_070620.pdf)
- [45] *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%20Iray%20against%20CIE%20171\\_20160217.pdf](https://developer.nvidia.com/sites/default/files/akamai/designworks/docs/Validation%20of%20NVIDIA%20Iray%20against%20CIE%20171_20160217.pdf)

## 10 AUTORŮV ŽIVOTOPIS

---

*Jméno:* Ing. et Ing. Lenka Gábrová (\*1985)

*e-mail:* Lenka.Gabrova@vutbr.cz

### Vzdělání

2012 - dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, **doktorský studijní program: Stavební inženýrství**, obor: Pozemní stavby

2010 – 2012 Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, **navazující magisterský studijní program: Soudní inženýrství**, obor: Realitní inženýrství, dosažená kvalifikace: Inženýr (Ing.)

2009 – 2011 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, **navazující magisterský studijní program: Stavební inženýrství**, obor: Pozemní stavby, zaměření: Navrhování pozemních staveb, dosažená kvalifikace: Inženýr (Ing.)

### Doplňující vzdělání a kurzy

2016 Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, **kurz znaleckého minima**, osvědčení o absolvování kurzu

2014 - 2015 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav společenských věd, **doplňující pedagogické studium k získání učitelské způsobilosti**, osvědčení o absolvování studia

### Ocenění

2012 **Cena ředitele Ústavu soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně** za vynikající studijní výsledky a aktivní účast ve vědeckovýzkumné a odborné činnosti

2011 **Uznání děkana Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně** za vynikající studijní výsledky během studia na Stavební fakultě

## Pracovní zkušenosti

- 2016 – dosud **Specialista pro oblast stavební fyziky** (denní osvětlení a proslunění budov, tepelná technika, energetika) v soukromé společnosti
- 03 – 05 2019, **Vyučující cvičení zejména z oblasti stavební fyziky** – Vysoké učení  
03 – 05 2018 technické v Brně – Fakulta stavební – Ústav pozemního stavitelství (dohoda  
02 – 05 2017, o provedení práce)  
10 – 12 2016

## Projekty

- 2016 **Monitorování jasu v interiéru a exteriéru budovy fotometrickou metodou** (FAST-S-16-3691) – spoluřešitel (hlavní řešitel: Ing. František Vajkay, Ph.D.)
- 2014 **Sestavení elektronického glosáře odborných termínů a jejich anglických ekvivalentů** (FAST-S-14-2231) – spoluřešitel (hlavní řešitel: Mgr. Jolana Tluková, Ph.D.)

## Tvůrčí aktivity

- 2014 TLUKOVÁ, Jolana; Bohuslav SLÁNSKÝ; Martin VILD; Ladislav ROUŠAR; Lenka GÁBROVÁ; Lukáš CHUCHMA a Karel STRUHALA. **Stavební slovník**; <https://web2014.fce.vutbr.cz/slovník/>

## Publikační činnost

- celkem publikováno 22 anglicky a česky psaných článků, 2 články indexovány v databázi SCOPUS, 1 recenzovaný článek v neimpaktovaném odborném časopise
- spoluautor studijní opory: OSTRÝ, Milan; Zuzana FIŠAROVÁ; Lenka GÁBROVÁ; Miroslav ČEKON; Richard SLÁVIK a František VLACH. *Počítačová aplikace stavební fyziky: Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. ISBN 978-80-214-4975-6.

## 11 VÝBĚR Z PUBLIKACÍ AUTORA

---

- 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>
- 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*. 2016, **861**, 477-484. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.861.477. ISBN 9783035710700. ISSN 1662-7482.
- 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.

- HLÁSKOVÁ, Michaela; Lenka GÁBROVÁ a František VAJKAY. Errors of In- Situ Illuminance Measurements. In *Energy Saving and Environmentally Friendly Technologies - Concepts of Sustainable Building. Applied Mechanics and Materials*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2016. s. 676-683. ISBN 978-3-03835-709- 4. ISSN 1662-7482.
- 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.
- GÁBROVÁ, Lenka. Effect of Light Reflectance of External Surfaces on Daylight Factor. In *enviBUILD 2014. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2014. s. 399-402. ISBN 978-3-03835-280- 8. ISSN 1662-8985.
- GÁBROVÁ, Lenka. Design of balcony from the point of view of daylighting. In *EnviBUILD Buildings and Environment 2013. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2014. s. 298-301. ISBN 978-3-03835-040- 8. ISSN 1662-8985.
- GÁBROVÁ, Lenka. Zhodnocení vlivu nástavby na denní osvětlení místnosti v sousední budově. In *Stavební fyzika v pozemním stavitelství: Sborník z konference*. Skalka: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. s. 32-35. ISBN 978-80-214-4926-8.
- 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.

## 12 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.