



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

TEPELNĚ-VLHKOSTNÍ A AKUMULAČNÍ VLASTNOSTI TĚŽKÝCH KONSTRUKCÍ ŠIKMÝCH STŘECH

HEAT-MOISTURE AND HEAT STORAGE PROPERTIES OF HEAVY STRUCTURES
OF SLOPING ROOFS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Ondřej Pilný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUBOR KALOUSEK, Ph.D.

BRNO 2021

ABSTRAKT

Hmotné pláště šikmých střech jsou stále častěji zakomponovány do běžné výstavby rodinných domů, bytových domů a jiné občanské vybavenosti. Díky vzrůstajícím požadavkům na úsporu energie v podobě stále se zpřísňujících hodnot součinitelů prostupu tepla a jiných tepelně technických nároků jsou tyto konstrukce odpovědí, jak požadavků snáze dosáhnout. Dále jsou schopny ovlivnit pasivní tepelnou stabilitu interiérů a tím vyřešit nejen otázku přehřívání staveb, ale také dosáhnout energetické úspory v případě teplotní stabilizace interiéru během celého roku. Při nedostatečném pochopení těchto na tepelně-vlhkostní a akumulaci chování odlišných konstrukcí však hrozí opačný efekt a nebezpečí zhoršení stavu. Je tedy nutné těmto konstrukcím lépe porozumět z hlediska chování a dopadu, který má jejich použití na stavbu samotnou. Stejně tak je žádoucí pochopit vliv změny jejich dílčích materiálových vlastností a skladby samotné na fungování tepelně-vlhkostních a akumulaci vlastností skladeb, které těmito materiály disponují.

KLÍČOVÁ SLOVA

Šikmá střecha, hmotný plášť, hmotná skladba šikmého střešního pláště, tepelná akumulace stavby, tepelná stabilita, přehřívání stavby, tepelně-vlhkostní chování, WUFI, DesignBuilder, numerická simulace, optimalizace návrhu skladby.

ABSTRACT

The heavy claddings of sloping roofs are increasingly being incorporated into the common constructions of family houses, apartment buildings and other civic amenities. Thanks to the increasing demands for energy savings in the form of ever-tightening values of heat transfer coefficients and other thermal engineering requirements, these designs are the answer to how to achieve the requirements more easily. Furthermore, they are able to influence the passive thermal stability of interiors and thus solve not only the issue of overheating of buildings, but also to achieve energy savings in the case of thermal stabilization of the interior throughout the year. However, if there is a lack of understanding of these different constructions for heat-moisture and heat storage behaviour, there is a risk of the opposite effect and a risk of deterioration of interior thermal stability. Therefore, it is necessary to better understand these structures in terms of behaviour and the impact that their use has on the building itself. Also, it is desirable to understand the effect of changes in their partial material properties and of the composition itself on the functioning of heat-moisture and heat storage properties of compositions that use these materials.

KEYWORDS

Sloping roof, heavy cladding, heavy material composition of sloping roof cladding, heat storage of the building, thermal stability, overheating of the building, heat-moisture behaviour, WUFI, DesignBuilder, numerical simulation, optimization of the structure design.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Ondřej Pilný *Tepelně-vlhkostní a akumulční vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech*. Brno, 2021. 244 s., 78 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Lubor Kalousek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané disertační práce s názvem Tepelně-vlhkostní a akumulční vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 12. 2021

Ing. Ondřej Pilný
autor práce

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem Tepelně-vlhkostní a akumulční vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 12. 2021

Ing. Ondřej Pilný
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych touto cestou nesmírně poděkovat svému školiteli Ing. Luboru Kalouskovi, Ph.D. za všechnen čas, rady, pomoc a další hromadu času, kterou mi věnoval. Velké díky také patří jeho ženě Ing. Zuzaně Fišarové, Ph.D. a jejich dceři Žanetce za to, že mu to vše vůbec dovolily.

Velké díky patří panu Jakubu Danielovi a jeho ženě za možnost realizace celého experimentu, trpělivost při sběru dat a za celkový neocenitelný přístup, bez kterého by má práce jen těžko vznikla.

Mé díky patří také Ing. Josefu Pláškoví, Ph.D. za cenné a vysoce odborné rady, které mi dovolili pochopit spoustu věcí a souvislostí, Ing. Josefu Remešovi, Ph.D. za všechny nápady a příležitosti, se kterými se rozhodl podělit a také Ing. Tomáši Fečerovi za nadhled vnesený do práce.

Současně mé díky patří dalším nejmenovaným osobám napříč fakultou stavební a AdMaSem, které se podílely, ať již radami, nebo morální podporou, v celém vzniku práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za to, že se mnou měli při celém studiu trpělivost a za všechnu podporu, kterou mi věnovali. Bez té bych se ani v práci, ani v životě daleko nedostal. Děkuji.

OBSAH

A. ÚVOD	11
B. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	12
B.1 Definice hmotné konstrukce šikmé střechy	13
B.2 Konstrukční systémy hmotných šikmých střešních pláštů.....	13
B.2.1 Definice pasivního objektu.....	13
B.2.2 Stručná historie hmotných šikmých střešních pláštů	14
B.2.3 Výhody a nevýhody hmotných šikmých střešních pláštů	15
B.2.4 Rozdělení materiálů.....	16
B.2.5 Železobetonové a slabě vyztužené betonové hmotné pláště.....	17
B.2.6 Keramické a keramobetonové hmotné pláště	17
B.2.7 Pórobetonové hmotné pláště.....	18
B.2.8 Kombinované materiály	19
B.2.9 „Disaster-resistant“ konstrukce hmotných šikmých střešních pláštů.....	19
B.3 Šíření tepla ve stavebních konstrukcích.....	20
B.3.1 Základní pojmy a veličiny související s přenosem tepla	21
B.3.2 Šíření tepla.....	23
B.3.3 Konduktance	23
B.3.4 Konvekce.....	25
B.3.5 Radiace	27
B.3.6 Prostup tepla konstrukcí a její posouzení	29
B.4 Šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích.....	30
B.4.1 Druhy vlhkosti ve stavebních látkách a konstrukcích	30
B.4.2 Základní pojmy a veličiny související s přenosem vlhkosti	31
B.4.3 Difúzní tok.....	34
B.4.4 Glaserova metoda a z ní plynoucí vlastnosti materiálů	35
B.4.5 Přesný numerický výpočet přenosu vlhkosti a tepla.....	37
B.5 Akumulace tepelných zisků	38
B.5.1 Definice, druhy akumulace a terminologie.....	38
B.5.2 Akumulace tepla v konstrukcích	40
B.6 Tepelná stabilita interiéru budov, hodnocení a ovlivnění	42
B.6.1 Klimatické podmínky České republiky k roku 2020	42
B.6.2 Tepelná stabilita místnosti a normové požadavky	43
B.6.3 Metody výpočtu tepelné stability	44
B.6.4 Faktory ovlivňující tepelnou stabilitu.....	45
B.7 Sestavení hypotéz	46
C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	47
C.1 Vytyčení cílů.....	48
C.2 Zdůvodnění volby a způsob dosažení výsledků.....	48
C.3 Způsob dosažení výsledků, použité postupy a podklady	50
C.3.1 Přístrojové vybavení pro experimentální měření.....	50
C.3.2 Softwarové vybavení pro experimentální měření a simulaci.....	50

C.3.3 Experimentální objekty	51
C.3.4 Hydrometeorologická data	51
D. METODIKA ZPRACOVÁNÍ	52
D.1 Teoretická analýza problematiky.....	53
D.1.1 Aktuálnost problematiky na území České republiky a ve světě	53
D.1.2 Chování, přehřívání a tepelně-vlhkostní tok hmotných konstrukcí.....	57
D.1.3 Fyzikální teoretická analýza.....	58
D.1.4 Další postup pro získání výsledků.....	60
D.2 Metodika experimentálního sběru dat a měření.....	60
D.2.1 Cíl experimentálního měření.....	60
D.2.2 Výběr objektu.....	61
D.2.3 Zkoumaná skladba.....	62
D.2.4 Experimentální měřicí soustavy EX_RD_02	63
D.2.5 Časový horizont experimentálního měření.....	71
D.2.6 Sbíraná data.....	71
D.3 Metodika simulace.....	72
D.3.1 Volba optimálního softwaru.....	72
D.3.2 Výpočetní software WUFI Pro.....	73
D.3.3 Výpočetní software DesignBuilder	74
D.3.4 Kompilace modelu WUFI	76
D.3.5 Kompilace modelu DesignBuilder	77
D.3.6 Časový horizont simulace WUFI Pro a vstupní parametry	79
D.3.7 Časový horizont simulace DesignBuilder a vstupní parametry.....	79
E. ZÁKLADNÍ SIMULACE A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	80
E.1 Cíle základní simulace a předmětný objekt zkoumání	81
E.1.1 Podrobnější popis objektu EX_RD_1, jeho vlastnosti a geometrie	81
E.1.2 Popis zkoumaných zón simulace	82
E.1.3 Skladby střešního pláště	83
E.1.4 Vstupní vnější okrajové podmínky simulace	85
E.2 Výsledky základní simulace.....	85
E.2.1 Skutečné natočení objektu	85
E.2.2 Fiktivní natočení objektu	86
E.3 Analýza výsledků základní simulace	87
E.3.1 Výsledky vzájemného srovnání mezi skladbami A a B.....	87
E.3.2 Výsledky vlastního srovnání skladby A a B při NSZ a VSZ.....	88
E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací.....	90
E.4.1 Výběr kritických časových úseků pomocí dat stanice B2POHO01	90
E.4.2 Kompilace simulačního modelu	93
E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách.....	95
E.4.4 Roční průběh vlhkosti.....	100
E.4.5 Průběh teplot jednotlivých vrstev v zimním období.....	101
E.4.6 Průběh teplot jednotlivých vrstev v letním období.....	102

E.4.7 Průběh teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích	103
E.4.8 Shrnutí průběhů v jednotlivých měsíčních obdobích	104
E.4.9 Průběh teplot v kritických datech	105
E.4.10 Histogramy hodnot za jednotlivé vybrané časové úseky	105
E.4.11 Shrnutí měření před analýzou	109
E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace	110
E.5.1 Analýza ročních izolinií teplot a vlhkostí	110
E.5.2 Analýza ročních průběhů vlhkosti	113
E.5.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období	114
E.5.4 Analýza průběhu hustoty tepelného toku v celém předmětném časovém období	116
E.5.5 Analýza průběhu teplot jednotlivých vrstev v zimním období	118
E.5.6 Analýza průběhu teplot jednotlivých vrstev v letním období	119
E.5.7 Analýza průběhu teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích	120
E.5.8 Analýza průběhu teplot v kritických datech	123
E.5.9 Analýza histogramů za jednotlivé vybrané časové úseky	123
E.5.10 Analýza histogramů za celé roční období	125
F. POKROČILÁ SIMULACE	128
F.1 Cíle pokročilé simulace a způsob jejich dosažení	129
F.1.1 Využitá hydrometeorologická a povětrnostní data	129
F.1.2 Způsob rozšíření simulace	129
F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce	130
F.2.1 Kompilace modelů a materiálové varianty	130
F.2.2 Roční izolinie teplot a vlhkostí materiálových variant	131
F.2.3 Roční průběh vlhkosti	135
F.2.4 Průběh teplot materiálových variant ve vybraných časových úsecích	136
F.2.5 Roční průběh teplot	137
F.2.6 Roční hodnoty hustoty tepelných toků materiálových variant	139
F.3 Analýza změny materiálu nosné hmotné konstrukce	140
F.3.1 Analýza ročních izolinií teplot a vlhkostí	140
F.3.2 Analýza ročních průběhů vlhkosti	143
F.3.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období	144
F.3.4 Analýza průběhu hustoty tepelného toku v celém předmětném časovém období	146
F.3.5 Analýza průběhu teplot materiálových variant v zimním období	147
F.3.6 Analýza průběhu teplot materiálových variant v letním období	148
F.3.7 Analýza průběhu teplot materiálových variant v přechodovém období	150
F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám	153
F.4.1 Kompilace modelů	153
F.4.2 Podrobnější popis objektu EX_RD_2, jeho vlastnosti a geometrie	153
F.4.3 Popis zkoumané zóny simulace	156
F.4.4 Vstupní vnější okrajové podmínky simulace	157
F.4.5 Vstupní vnitřní okrajové podmínky simulace	157
F.4.6 Procentuální podobnost simulací vůči výchozímu stavu	158

F.4.7	Výsledky simulace a srovnání jednotlivých variant.....	158
F.5	Analýza vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám	160
F.5.1	Analýza simulace 1 – Natočení azimut 180° – Jih.....	160
F.5.2	Analýza simulace 2 – Natočení azimut 225° – Jihozápad.....	161
F.5.3	Analýza simulace 3 – Natočení azimut 270° – Západ	161
F.5.4	Analýza simulace 4 – Natočení azimut 315° – Severozápad	162
F.5.5	Analýza simulace 5 – Natočení azimut 0° – Sever	163
F.5.6	Analýza simulace 6 – Natočení azimut 45° – Severovýchod.....	164
F.5.7	Analýza simulace 7 – Natočení azimut 90° – Východ.....	165
F.5.8	Analýza simulace 8 – Natočení azimut 135° – Jihovýchod	165
F.6	Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu	168
F.6.1	Kompilace modelů a typy úprav skladby.....	168
F.6.2	Průběh teplot stavebních úprav ve vybraných časových úsecích.....	169
F.6.3	Průběh teplot stavebních úprav v celém sledovaném období.....	172
F.6.4	Roční hodnoty hustot tepelných toků stavebních úprav.....	175
F.7	Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby	177
F.7.1	Selekce dat, omezení simulace a hodnocení stavebních úprav	177
F.7.2	Analýza průběhu teplot stavebních úprav v zimním období.....	178
F.7.3	Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období.....	182
F.7.4	Analýza průběhu teplot stavebních úprav v přechodovém období	187
F.7.5	Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období.....	192
F.7.6	Analýza průběhu hustot tepelného toku v celém předmětném časovém období.....	196
G.	VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE.....	201
G.1	Komparace experimentálního měření a simulačních výpočtů	202
G.1.1	Komparace simulace skutečného stavu objektu pro dosažení cíle C.1.....	202
G.1.2	Komparace simulace změny materiálu pláště se skutečností pro dosažení cíle C.2.....	202
G.1.3	Komparace simulace změny orientace konstrukce vůči světovým stranám se skutečností pro dosažení cíle C.3	203
G.1.4	Komparace simulací stavebních úprav se skutečností pro dosažení cíle C.4	203
G.2	Chování hmotné nosné konstrukce šikmé střechy	204
G.2.1	Chování teplot	204
G.2.2	Chování tepelného toku.....	204
G.2.3	Chování difúzního toku.....	204
G.2.4	Fázový posun teplotního kmitu	205
G.2.5	Akumulace a rychlost odezvy hmotné konstrukce	205
G.2.6	Shrnutí cíle 1	206
G.3	Vliv objemové hmotnosti na chování konstrukce šikmé střechy a její následný vliv na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí	207
G.3.1	Chování teplot	207
G.3.2	Chování tepelného toku.....	207
G.3.3	Chování difúzního toku.....	208
G.3.4	Fázový posun teplotního kmitu	208
G.3.5	Akumulace a rychlost odezvy hmotné konstrukce.....	208

G.3.6	Shrnutí cíle 2	209
G.4	Vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy na chování a nároky vnitřního prostředí	210
G.4.1	Optimální orientace	210
G.4.2	Vliv orientace na teploty vnitřního prostředí.....	210
G.4.3	Vliv orientace na nároky tepelné stabilizace vnitřního prostředí	211
G.4.4	Vliv orientace na solární zisky teplosměnného hmotného pláště	211
G.4.5	Shrnutí.....	211
G.5	Vliv stavebních úprav hmotného pláště šikmé střechy na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí .	212
G.5.1	Rozdělení stavebních úprav.....	212
G.5.2	Stavební úpravy pro výhodné letní období.....	212
G.5.3	Stavební úpravy pro výhodné zimní období.....	212
G.5.4	Stavební úpravy pro výhodné přechodové období	213
G.5.5	Stavební úpravy pro výhodné celoroční použití	213
G.5.6	Shrnutí.....	214
H.	SHRnutí, DOPORUČENÍ PRO PRAxi A MOŽNOSTI DALŠÍHO VÝZKUMU	215
H.1	Tepelně-vlhkostní a akumulační vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech.....	216
H.1.1	Doporučení při použití hmotné konstrukce do šikmé střechy ve fázi návrhu.....	216
H.1.2	Doporučení při použití hmotné konstrukce do šikmé střechy ve fázi užívání	217
H.1.3	Pracovní diagram návrhu lehkých a hmotných plášťů šikmých střech	218
H.2	Vhodnost orientace objektu v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech	219
H.3	Vhodnost stavebních úprav v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech.....	221
H.4	Koncepce stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech.....	222
H.5	Vliv uživatele na vnitřní okrajové podmínky	224
H.6	Možnosti dalšího výzkumu.....	226
H.6.1	Rozšíření experimentálního měření a sestavení objektu za účelem validace simulací.....	226
H.6.2	Využití hmotného střešního pláště jako výměníku tepla.....	226
H.6.3	Stavební úprava hmotného pláště šikmé střechy pomocí PCM.....	227
H.6.4	Softwarové řešení pro komplexní řízení vnitřního prostředí	227
H.6.5	Záření hmotných materiálů šikmých střech a míra ovlivnění jejich okolí.....	228
H.6.6	Optimalizace koncepce stínění vnitřních prostor a vývoj softwaru.....	228
H.6.7	Optimalizace koncepce užívání vnitřních prostor a vývoj softwaru.....	228
I.	ZÁVĚR.....	230
J.	SEZNAM ZDROJŮ	231
J.1	Seznam použitých podkladů	231
J.2	Seznam obrázků.....	237
J.3	Seznam grafů.....	238
J.4	Seznam tabulek.....	239
J.5	Seznam použitých zkratk	240
J.6	Seznam použitých symbolů	241
	Příloha č. 1 – Schématická dokumentace objektu EX_RD_2	
	Příloha č. 2 – Schématická dokumentace objektu EX_RD_1	
	Příloha č. 3 – Grafy disertační práce	

A. ÚVOD

Trendem současnosti, který je dlouhodobě patrný a stále více zvýhodňovaný i žádaný, je nárůst požadavků na zvýšení úspory energií při provozu všech objektů, tedy jak rodinných domů, tak i občanské vybavenosti. Tento požadavek je ukotven nejen v neustále se zpřísnujících českých technických normách (ČSN), ale také například ve směrnici Evropského parlamentu a Rady [1]. U doporučených hodnot součinitele prostupu tepla u pasivních budov, které jsou častěji vyhledávány a finančně zvýhodňovány pomocí nejrůznějších vládních programů, lze pozorovat značný vzrůst požadavků oproti požadovaným hodnotám. Zejména poté například u střešních konstrukcí. Pro dosažení existuje několik řešení. Patří mezi ně využití systémů zateplení vyznačujících se vynikajícími tepelněizolačními vlastnostmi a jejich zhotovením v daleko větších tloušťkách. Zde narážíme na problém. Nevýhodou některých pasivních budov je při nepochopení vnitřního provozu přehřívání interiéru, které je umocněno právě velice kvalitními teplosměnnými konstrukcemi a dále neprůvzdušností obálky ($n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$) [10]. To vede k požadavek stabilizace vnitřního prostředí ve smyslu dosažení optimálních a pro uživatele přívětivých teplot.

Možností stabilizace je mnoho. Nejjednodušším principem je zvýšení násobnosti výměny vzduchu v místnosti přirozeně, tedy okny. Tato metoda je však často nevhodná a nedostatečná u pasivních objektů, kdy by bylo nutné ponechat okenní otvory otevřené téměř po celou dobu večerních hodin, a i tak bychom často nedosáhli kýženého výsledku. Tento způsob je pro uživatele značně nevhodný. Dalším způsobem je instalace vzduchotechniky. Opatření může a často také vede ke zvýšení energetické náročnosti budov. Nejvhodnějším způsobem zlepšení tepelné stability interiéru tohoto typu budov je zlepšení materiálů teplosměnných konstrukcí, zejména zvýšením měrné tepelné kapacity materiálů samých a s ním spojeným navýšením ukládané energie v materiálech. U obecně kritických podstřešních prostor se setkáváme se snahou navýšit měrnou tepelnou kapacitu u těchto konstrukcí použitím tzv. hmotných pláštěů. Pláště sestávají z hmotných materiálů s vysokou objemovou hmotností, které dokážou absorbovat daleko vyšší množství energie. To vede potenciálně k riziku přehřívání vnitřních prostor a negativní dopad může být dále umocněn nepochopením použitých systémů a špatnou koncepcí vnitřního provozu. Problém a riziko s ním spojené je dále patrné zejména na jedné z nejvíce exponovaných teplosměnných ploch objektu, střešním pláště, který je vystaven značným solárním ziskům po celou denní dobu. Stále častěji při setkání s těmito konstrukcemi vyvstává otázka: „Jaké jsou skutečné tepelně-vlhkostní a akumulaci vlastnosti těchto střešů?“. Otázku je nutné si dále doplnit další otázkou a sice: „Mají tyto hmotné konstrukce pozitivní, nebo negativní vliv na stabilizaci vnitřního prostředí a do jaké míry?“.

Tato disertační práce se zaměřuje na zjištění skutečných vlastností těchto hmotných konstrukcí a na verifikaci výše položených hypotéz, kdy je sledován zejména nárůst energie uvnitř skladby samotné. Přestože lze poznatky práce aplikovat na různé objekty z hlediska jejich využití, jsou výsledky zjištěné v rámci kompletnosti zaměřeny zejména na stavby obytné. Pro počáteční ověření problematiky byl sestaven idealizovaný výpočetní experimentální model, ve kterém bylo provedeno srovnání hmotných pláštěů s běžně používanými konstrukcemi a dále často opomíjený vliv orientace vůči světovým stranám. Dle výsledků bylo dále přistoupeno k realizaci full-scale experimentu na reálně stavbě, které bylo dále doplněno simulací. Pro účely práce bylo využito dvou experimentálních objektů. V obou případech se jedná o reálné pasivní domy zakončené hmotným pláštěm: RD Kuřim a RD Pohořelice. Veškeré reálně získané hodnoty pocházejí z RD Pohořelice užívaným běžným uživatelem, kde byla nainstalována experimentální měřicí soustava. Soustava byla rozšířena v rámci specifického výzkumu VUT v Brně FAST-J-20-6275 s názvem Analýza hmotných konstrukcí šikmých střešů a jejich vliv na stav vnitřního prostředí.

B. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

- ❖ **B.1** Definice hmotné konstrukce
- ❖ **B.2** Konstrukční systémy hmotných šikmých střešních plášťů
- ❖ **B.3** Šíření tepla ve stavebních konstrukcích
- ❖ **B.4** Šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích
- ❖ **B.5** Akumulace tepelných zisků
- ❖ **B.6** Tepelná stabilita interiéru budov, její hodnocení a ovlivnění
- ❖ **B.7** Vytvoření hypotéz

B.1 Definice hmotné konstrukce šikmé střechy

Z hlediska českého stavitelství lze rozlišovat konstrukce všech objektů dle normového zařazení dle ČSN 73 0540-2 [2] na tzv. „lehké“ a „těžké“ konstrukce. Lehké konstrukce jsou konstrukce s nízkou tepelnou setrvačností, které mají plošnou hmotnost vrstev, tedy všech částí od vnitřního líce až po vnější líc tepelněizolační vrstvy, nižší než $\rho_s \leq 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Těžké konstrukce jsou v našem případě právě zmíněné hmotné střešní pláště, které se vyznačují vyšší plošnou hmotností než $\rho_s \geq 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Současně, díky vysoké plošné hmotnosti vycházející z objemové hmotnosti, se jedná o materiály vyznačující se vysokou tepelnou setrvačností, která přímo souvisí s akumulací tepelných zisků.

V práci bude primárně používán hmotný plášť, nebo hmotná konstrukce, nebo hmotný materiál z důvodů potenciálně zavádějícího termínu těžká konstrukce.

V současné době se střechy v běžné praxi navrhují pomocí souboru norem ČSN 73 1901-1-2-3 [3], [4], [5] a tepelně technicky se posuzují souborem norem ČSN 73 0540 [2], [6], [7], [8] a v souladu s platnými legislativními předpisy [9], podrobněji viz dále. Termínem šikmé střechy se pro účely disertační práce myslí víceplášťová střešní konstrukce sklonu od 5–45° (v našem případě 30°) se skládanou střešní krytinou.

B.2 Konstrukční systémy hmotných šikmých střešních plášťů

Hmotné pláště nejsou žádnou stavební novinkou. Přesto je však jejich použití v českých poměrech relativně netradiční, až neobvyklé. Jak je však zmíněno v úvodu, postupně se tyto konstrukce, které jsou například typické pro většinu jižních států, nebo i severní, pokud vezmeme v potaz vegetační šikmé střechy, pomalu dostávají i do českého prostředí. Na území České republiky však musí splňovat celou řadu tepelně technických požadavků, které jsou zejména pro nízkoenergetické a pasivní objekty daleko více náročné.

B.2.1 Definice pasivního objektu

V Evropě, stejně jako jinde na světě, trvale sílí tlak na snížení energetické náročnosti staveb. Řeší se jak samotný stavební návrh objektu a jeho teplosměnné konstrukce, tak také energie na vytápění a samotný provoz. V neposlední řadě se řeší primární energie na vstupu a konci životnosti stavby metodou „Life Cycle Assessment“, která stále častěji bývá jedním z dalších hodnotících kritérií. Tyto nároky byly shrnuty v konceptu pasivního domu vyvinutého v 90. letech 20. století v Německu [10]. Následně byl tento koncept převzat různými, převážně evropskými státy, mezi něž patří také Česká republika, kde se tento již vžitý pojem promítá i do norem [2], [6], [7], [8]. Pasivní domy tedy musí splňovat [11]:

- **měrnou roční potřebu tepla** pro vytápění objektu maximálně $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,
- **neprůvzdušnost obálky budovy** n_{50} zajištěnou tlakovou zkouškou, kdy při přetlaku 50 Pa nesmí konstrukce překročit hodnotu výměny netěsnostmi v obálce $0,6 \text{ h}^{-1}$, tedy více než 60 % vnitřního objemu vzduchu během hodiny,
- **celková potřeba primární energie** spojené s provozem objektu, včetně všech domácích spotřebičů, je nižší než $120 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$.

Z uvedeného je tedy jasný přínos právě hmotných plášťů, které, kromě schopnosti vyšší měrné tepelné kapacity, a tedy i ukládání tepla, vytváří téměř ideální vzduchotěsnou obálku na jinak nejvíce problematické konstrukci celého objektu, střechy.

B.2.2 Stručná historie hmotných šikmých střešních plášt'ů

Historicky lze použití moderních hmotných materiálů na šikmých střeších datovat k cca 20. století, kdy byl poprvé použit železobeton jako konstrukční a nosný prvek. Některé dostupné informace uvádí první datum vzniku, nebo nahrazení tradičních dřevěných prvků, již konec 19. století. Zdroje informací však není možno spolehlivě ověřit. Pravděpodobnější je jejich širší využití až s nástupem železobetonu jako konstrukčního prvku a obecně lze datovat aplikaci do střešních plášt'ů spíše období po 1. světové válce. Jednalo se však o velmi omezené využití. Vzhledem k postupnému vývoji stavebnictví a zkušenostem s použitím železobetonových prvků lze upřesnit širší použití hmotných materiálů na šikmé konstrukce k cca druhé polovině 20. století [12]. V dřívější době předcházející použití železobetonu se lze setkat s hmotnými konstrukcemi, nikoliv však u šikmých střeších. Jedná se z pravidla o konstrukce kleneb nebo jejich různé varianty.

Všeobecným problémem s použitím této technologie, se kterým se často setkáme i dnes, byla primárně hmotnost jednotlivých prvků, problematické zhotovení geometricky složitých obrazců vycházejících z komplikovaných půdorysů střešních plášt'ů a jejich zhotovení na stavbě samotné, nebo zakomponování do šikmých konstrukcí. Ve 20. letech 20. století, kdy byla snaha implementovat betonové konstrukce, se vzhledem k problémům souvisejícím s dopravou, technologickou náročností a problematickou výrobou větších stavebních dílců začaly u některých staveb objevovat prvky, které byly cementem nebo také betonem pouze omítnuty a nosnou konstrukci tvořila ocelová rámová konstrukce, nebo keramická nosná konstrukce.

Díky výše zmíněné problematice, a všeobecnému nedostatku cementu, tak dochází k částečnému útlumu používání železobetonu a upuštění od použití hmotných plášt'ů pro šikmé konstrukce. Po druhé světové válce, vzhledem k požadavku na rychlost výstavby, se dostává do popředí opět železobeton (i ve své předjaté podobě). Použitím tohoto univerzálního materiálu bylo možné rychle zrekonstruovat válkou poničenou infrastrukturu měst. Materiál jako takový se však do té doby používal výhradně jako monolitický a díky obrovskému zájmu nastává vývoj prefabrikovaných železobetonových dílů. Následné období, tedy 50. a 60. léta, lze označit za největší průlom ve vývoji prefabrikace. Objevují se nejen prefabrikované stěny, stropy, nebo schodiště, ale poprvé i prefabrikované dílce určené pro šikmé střešky. Vznikají tzv. masivní šikmé střešky, nebo více rozšířený a v této práci používaný termín, hmotný plášť šikmé střešky.

Jedním z významných historických použití masivních šikmých střeších v České republice je například použití železobetonových krovů nad částí Pražského hradu [13], [14]. Datace tohoto použití je uvedena cca 60. léta 20. století. Krovy mají podobu železobetonových příhradových vazníků se subtilními taženými svislicemi a masivními styčníky, které dále nesou železobetonové desky střešních rovin. Dalším příkladem použití těchto prvků tvoří například přestavba pivovaru v Lochkově [15]. Tradiční dřevěné prvky krovů byly nahrazeny pomocí železobetonových dílců, konkrétně trámů či sloupů, a ve střešní rovině doplněny železobetonovými deskami.

Problémem při prvotním všeobecném použití železobetonových konstrukcí však bylo jejich špatné provedení, technicky nedokonalé konstrukční detaily a nedostatečné testování na reálné výstavbě. Výslednou akumulací problémů vznikaly poruchy různých částí nosných konstrukcí, tepelné mosty, šíření pachů, zvuků a zejména vlhkosti. Díky těmto vadám a poruchám byl železobeton a prvky z něj vytvořené vnímán jako materiál nevhodný pro občanskou výstavbu.

V 80. letech, zejména kolem roku 1975, dochází k rozšíření použití železobetonu, jeho opětovnému rozvoji a odstranění celé řady konstrukčních nedostatků. Následkem je změnu názoru na tento materiál, na který se opětovně začíná nahlížet jako na kvalitní aspekt výstavby. S návratem a vývojem tohoto materiálu se opět začíná objevovat použití i hmotné konstrukce šikmých střeších. Díky hlubšímu pochopení možností železobetonu, stejně jako dalších hmotných materiálů, se začíná uplatňovat jedna z jeho hlavních výhod použití, tvarovatelnost.

Betonové a železobetonové konstrukce šikmých střech v celé řadě Evropských států byly z počátku jejich použití výstavby občanské vybavenosti pouze architektonickou záležitostí. Velkým uživatelem a zhotovitelem takto charakterizovatelných střech se však staly státy v okolí rovníků, kde se tyto střechy staví již od cca 60. až 70. let 20. století. Důvod je prostý a vychází z přirozeného nedostatku kvalitního stavebního řeziva, zejména podél pobřeží. Dohromady s tímto nedostatkem, v severních zemích jinak zcela běžného a snadno dostupného materiálu, má však použití hmotných konstrukcí další opodstatnění. Jedná se o odolnost vůči zvýšené seismické aktivitě a ochranu vnitřního prostředí, kdy je využívána zejména vysoká měrná tepelná kapacita materiálu. Zásadním rozdílem použití těchto konstrukcí v jižních státech [16], oproti severským [17], je však často naprostá absence jakékoliv formy hydroizolace, parozábrany a také tepelného izolantu. I když jde tedy v těchto zemích o běžně používanou, tradiční a vžitou konstrukci, v našich podmínkách se setkáváme s celou řadou zcela rozdílných problémů, což vedlo k značnému zpomalení jejich využití.

Dalším pomyslným vývojovým stupněm moderních hmotných konstrukcí jsou tzv. montované stropní konstrukce kombinující prefabrikované dílce s monolitickým probetonováním. Konstrukce, jak jejich název napovídá, byly použity pouze jako stropní prvky, a to již od 1. poloviny 20. století. Jejich širší vývoj společně s rozsáhlou aplikací lze zařadit do cca 90. let. Mezi tyto konstrukce patří například stropní keramické desky Hurdis [18], keramické montované strop POROTHERM [19] a HELUZ [20], keramobetonové panely HELUZ [20], nebo pórobetonové stropy YTONG [21]. Stropy zhotovené z těchto materiálů jsou relativně rychle a kvalitně provedeny bez nutnosti rozsáhlé mechanizace. Současně v sobě spojují dobré akustické a tepelněizolační vlastnosti. Nevýhodou je nutnost podepření během provedení betonové vrstvy.

Během posledního desetiletí vznikla řada staveb, ve kterých byly použity právě tyto stropní konstrukce do šikmých střech jako snaha o zlepšení vlastností vnitřního prostředí. Jedním z prvních takto použitých systémů byl systém z pórobetonových tvárnic [21], který byl následován keramickými [19], [20] a keramobetonovými prvky [20]. Ve většině případů se jedná o systémy, které jsou téměř totožné s normálními stropními konstrukcemi, pouze s řadou obměn. Rozdíly se týkají provádění, použití kvalitnějšího a lehčího betonu, častějšího rozmístění nosných prvků, zakomponování železobetonových prvků do nosné konstrukce apod.

Důvod návratu, nebo téměř až pomyslného znovuobjevení, těchto technologicky náročnějších a hmotnějších konstrukcí je spojen s požadavky na tepelnou techniku a na průvzdušnost obálky budovy. Jedná se již o známé požadavky vycházející z konceptu pasivního domu [10], kdy zejména šikmé střechy a jejich detaily jsou častým zdrojem problémů spojených zejména s průvzdušností. Pokud k tomu přidáme z charakteru materiálu vyplývající vlastnost ohledně vyšší měrné tepelné kapacity, dostáváme zdánlivě optimální konstrukce. Díky tomu tak v posledních letech můžeme pozorovat nárůst aplikace těchto konstrukcí a lze očekávat, že tento fenomén bude nadále růst, zejména díky nárůstu teplotních výkyvů, se kterými se objekty na území České republiky musí velmi často potýkat.

B.2.3 Výhody a nevýhody hmotných šikmých střešních pláštů

Z kapitoly B.2.1 *Definice pasivního objektu* je zřejmé, že trvale vzrůstá požadavek na úsporu energií při provozu jak rodinných, tak bytových domů, stejně jako objektů občanské vybavenosti, což se promítá zejména na normativně požadovaných součinitelích prostupů tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. U doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro ploché a šikmé střechy u pasivních objektů [2], mající hodnotu $U_{pas,20}$ 10-15 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, lze pozorovat 37–48 % nárůst požadavku oproti požadované hodnotě $U_{N,20} = 0,24 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Společně s výše zmíněnými body vycházejících z koncepce pasivního domu je nutné dosáhnout vysokých technických požadavků.

Hlavními výhodami, jak bude později důkladně rozepsáno u jednotlivých kapitol či materiálových řešení, je zvýšení tepelně technických parametrů o často srovnatelné nebo lepší součinitelé tepelné vodivosti, zvýšení měrné tepelné kapacity viz kapitola *B.5 Akumulace tepelných zisků* a eliminace problémů s průvzdušností obálky. Další potencionální výhodou často spojovanou s hmotnými střechami je zvýšení podílu prosklených ploch ku celkové ploše šikmého pláště, kdy tato vlastnost vychází z možnosti vyšší únosnosti konstrukce jako takové. Neopomenutelnou, avšak již zmíněnou, výhodou je odolnost konstrukcí vůči povětrnostním vlivům a přírodním katastrofám, kterou těmto masivním hmotným konstrukcím jejich charakter propůjčuje. Výhodu má každá dále vyjmenovaná materiálová varianta, nebo jak bude uvedeno v kapitole *B.2.8 Kombinované materiály*, lze kolem konceptu vybudovat celý konstrukční systém.

Hlavní nevýhoda je paradoxně i jednou z výhod samotných hmotných konstrukcí, a sice jejich možnost ukládat díky vyšší měrné tepelné kapacitě více energie. Toto je spojeno s rizikem potenciální akumulace tepelných zisků a také s rizikem vyššího ukládání vlhkosti v materiálu. Jedná se o nežádoucí a často zcela opomíjené efekty spojené s možností vzniku poruch, tepelných mostů a možného zhoršení tepelné stability interiéru. Další nevýhodou je nutnost vzájemně kombinovat nosné a výplňové materiály, obdobně jako u stropních konstrukcí. Současně, pokud se setkáváme s geometricky složitější konstrukcí, kterou chceme provést právě pomocí hmotného systému pro šikmé střechy, je nutné doplňovat nosnou konstrukci například o ocelové, nebo železobetonové prvky sloužící jako opěrný systém.

I přes značné riziko, které je spojené zejména s neznalostí jiného chování konstrukcí a také s relativně nedostatečným použitím na území České republiky, se tyto konstrukční systémy stávají oblíbenými a lze pozorovat jejich stále častější výskyt a s ním také rozšíření sortimentu výrobků, které lze zakomponovat do šikmých střech viz kapitola *B.2.4 Rozdělení materiálů*.

B.2.4 Rozdělení materiálů

Rozdělení materiálů hmotných pláštů šikmých střech je v mnohém téměř identické jako stropní konstrukce, ze kterých tyto systémy vzešly. Lze se tedy setkat se stejnými materiály a sice železobetonem, betonem, keramikou, pórobetonem, ocelí v případě nosných konstrukcí a také finálně kombinací výše uvedených materiálů.

Samotné materiály se svými vlastnosti taktéž odpovídají běžně používaným tradičním materiálům pro stropní konstrukce. Kromě materiálových variant lze tak rozdělovat materiály do nosných prvků, které mají za úkol vynášet zatížení, a výplňových prvků, které slouží dle názvu jako hlavní výplňový prvek samotného hmotného pláště. Lze tedy rozdělit materiály následovně:

Nosné materiály:

- železobeton: - trámy
- vazníky
- příhradové vazníky
- desky plné
- desky dutinové
- desky kazetové
- ocel: - profily (I,C,U,H,T..)
- vazníky
- příhradové vazníky

Výplňové materiály:

- beton (jako materiál pro zalití spar/spojů), nebo jako zhotovená deska (např. keramické vložky)
- keramika: - keramické panely/desky,
keramobetonové panely (např. Hurdis, HELUZ)
- keramické vložky (MIAKO)
- pórobeton (YTONG Komfort, Porfix)
- kombinované materiály

Rozdělení pokrývá nejčastěji používané materiály na území České republiky. Je nutné říct, že v zahraničí, převážně poté na území Severní Ameriky, se setkáváme se speciálními systémy z kombinovaných železobetonových monolitických nosných prvků, jejichž výplňové

materiály jsou poté z extrudovaného polystyrenu. Vzhledem k náročnosti českých technických norem na požární bezpečnost staveb [22], [23] se s těmito systémy u nás není možné setkat.

B.2.5 Železobetonové a slabě vyztužené betonové hmotné pláště

Jedná se o historicky první ze systémů hmotných pláštů šikmých střech s nejdelší dobou používání na území České republiky [12], jehož nosnou i výplňovou část tvoří kompozitní materiál tvořený ze směsi kameniva, záměsové vody, cementu, přísad a příměsí, do které je před zhotovením nebo vylitím do formy, ať již jako monolitu, nebo jako prefabrikátu, vkládána výztuž. Díky tomu se výrazně zvyšuje pevnost materiálu v tlaku a tahu. Vlastnosti železobetonu jsou závislé na výsledné použité směsi, stejně tak jako na stupni vyztužení prvku. Přesto se díky tomu, že se jedná o šikmou konstrukci střechy, nejčastěji setkáme s nejběžnějším typem betonových a železobetonových konstrukcí, jejichž vlastnosti jsou vypsány níže.

Tepelně technické vlastnosti [24]:

Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{dn}	2300-2500	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn}	1020	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
Faktor difúzního odporu μ_n	23-32	[-]
Součinitel difúze vodní páry δ_n	$0,008-0,006\cdot 10^{-9}$	[s]
Součinitel tepelné vodivosti λ_p	1,43-1,74	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

V případě, že je tento typ systému využit pro zhotovení celé střechy, tedy nosný systém a plášť střechy, setkáváme se často s použitím železobetonu ve formě desek plných, dutinových a kazetových v různých stupních a způsobech vyztužení. Při použití monolitických konstrukcí se nabízí možnost vytvoření libovolného tvaru střešního pláště. Nevýhodou při provádění je nutnost plnoplošného bednění. Pokud budeme využívat železobeton pouze jako nosný systém, což však není tématem předložené disertační práce, setkáváme se s prvky jako trámy, průvlaky, příhradové vazníky a jiné rámové konstrukce. Zde se velmi často lze setkat s prefabrikovanými elementy.

B.2.6 Keramické a keramobetonové hmotné pláště

Keramika a s ní spojené výrobky jsou jedním z nejstarších stavebních materiálů v lidské historii. Není tak s podivem, že se tento materiál dostal i mezi konstrukční systémy hmotných pláštů šikmých střech. Materiál jako takový je směs nekovových anorganických materiálů, nebo směs uhlíkových materiálů, které jsou vypáleny v peci za vysokých teplot. Obdobně jako u železobetonových a betonových konstrukcí se setkáváme s různými vlastnostmi, které jsou ovlivněny různým typem systému nebo výrobcem. Přesto je však možné charakterizovat vlastnosti těchto systémů pomocí následujících vlastností.

Tepelně technické vlastnosti [24]:

Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{dn}	1700-1800	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn}	900	$[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$
Faktor difúzního odporu μ_n	8,5-9	[-]
Součinitel difúze vodní páry δ_n	$0,031\cdot 10^{-9}$	[s]
Součinitel tepelné vodivosti λ_p	0,78-0,84	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

Mezi keramické prvky, které lze použít na hmotné pláště šikmé střechy, se řadí dva nejčastější typy. Jedné se o keramické panely [18] (alternativně keramobetonové panely [20]) a keramické vložky [19] [20], každé součástí jiného systému. Veškeré zmíněné prvky jsou

doplněny pomocí keramobetonových nosníků s filigránovou výztuží, které jsou dodávány buď jako samostatné prvky, nebo například v případě keramobetonových panelů jako součást dílce. Je důležité zmínit, že prvky samy o sobě jsou sice nosné, ale je nutné jejich doplnění pomocí ocelové výztuže a následného prolití betonovou směsí, čímž dojde ke zmonolitnění celé konstrukce. Na rozdíl od stropní konstrukce však nastává změna v podobě absence tzv. nadbetonávky systému. Limitací systému je oproti železobetonu vzdálenost podpor. Je podstatné zmínit, že například u rodinných domů je tato limitace téměř nepostřehnutelná. Současně se však setkáváme s vyšším počtem systémových tepelných mostů vytvářených nosnými prvky jako jsou systémové nosníky a železobetonové prvky.

B.2.7 Pórobetonové hmotné pláště

Jedná se o nejvíce rozšířené případy použití hmotných plášťů do šikmých střech na území České republiky. Toto rozšíření je způsobené vytvořením systému firmy XELLA CZ s.r.o. s názvem YTONG KOMFORT [21], který řeší použití, zabudování, detaily a další podstatné informace, které investorům i zhotovitelům usnadňují vyhledávání informací.

Materiál systému samotného je druh přímo lehčeného betonu s objemovou hmotností $\rho \leq 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, který má dobré tepelněizolační a zvukové vlastnosti. Vylehčení tohoto betonu vzniká již při jeho výrobě vytvořením pórů do vlastní betonové směsi. Obdobně jako klasický beton je pórobeton tvořen základními prvky, mezi něž patří plnivo, pojivo, přísady, příměsi a voda. V pórobetonu je jako plnivo použito křemičitého písku, elektrárenského popílku, škváry, nebo strusky namísto kameniva. Jako pojiva se dále využívá cementu, vápna, nebo kombinace těchto pojiv. Důležitá je v tomto případě také terminologie. Plynobeton je tvořen cementovým pojivem a vylehčení je dosaženo plynem, který vzniká chemickou reakcí hliníkového prášku nebo pasty. Plynosilikáty jsou poté tvořeny pojivem z vápna a vylehčení je dosaženo opětovně plynem, který vzniká chemickou reakcí. Posledním je pěnobeton, u nějž je pojivem cement a vylehčení se dosahuje vmícháním pěnotvorné přísady, nejčastěji stabilní pěny.

Vzhledem k současnému zastoupení v rámci hmotných materiálů šikmých střech pouze u plynosilikátových pórobetonů jsou uvedeny vlastnosti odpovídající materiálu YTONG KOMFORT. Stejně jako u železobetonu, nebo u keramiky se i zde setkáváme s různými vlastnostmi, byť se jedná o jeden a ten samý materiál. Tato variabilita je nejčastěji způsobena různými nuancemi, které jsou do jednotlivých prvků vpraveny při výrobě samotné, nebo díky mírně rozdílnému chemickému složení výrobního materiálu. Současně se projevuje také vyšší nasákavost materiálu v závislosti na porositě, která může vést k velmi rozdílným vlastnostem v závislosti na době od dokončení výroby po zabudování materiálu do konstrukce.

Tepelně technické vlastnosti [24]:

Objemová hmotnost v suchém stavu ρ_{dn}	500-900	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Měrná tepelná kapacita v suchém stavu c_{dn}	1000	[$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Faktor difúzního odporu μ_n	8-10	[-]
Součinitel difúze vodní páry δ_n	$0,063\cdot 10^{-9}$	[s]
Součinitel tepelné vodivosti λ_p	0,13-0,137	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

Jediným prvkem zastupujícím pórobetonové hmotné šikmé střechy na území České republiky je v současné době systém YTONG KOMFORT. Jedná se současně o jeden z prvních montovaných hmotných systémů, které byly za tímto účelem použity, pokud nepočítáme historické železobetonové prvky. Obdobně jako u keramických systémů, se i u tohoto využití materiálu jedná o variantu systému pro stropní konstrukce s různými nutnými obměnami, které

vedou k lepšímu využití prvku pro účely střech. Mezi obměny patří daleko vyšší zastoupení nosných dílců a vyšší míra vyztužení případných železobetonových částí zhotoveného systému. Nevýhodou systému oproti keramice, nebo železobetonu je zmíněná vyšší nasákavost způsobená zejména velikostí pórů. Dalším problémem je vysoká absorpce vzdušné vlhkosti, kterou je nutné řešit u prostorů se zvýšenou vlhkostí jako jsou koupelny a jiné mokré proozy.

B.2.8 Kombinované materiály

Konstrukční systémy, které jsou zde uvedeny, jsou nejčastěji zhotovené kombinací železobetonu nebo betonu, oceli a expandovaného polystyrenu (dále EPS), které společně vytvářejí trémovou konstrukci. Je důležité zopakovat, že žádný z uvedených systémů se v současné době nevyskytuje na českém trhu a jsou zde proto uvedeny informativně bez svých vlastností. Nejčastěji se s těmito systémy setkáváme v zahraničních zemích, nejvíce pak v USA [25], [26], [27], kde jsou tyto systémy použity vždy v kombinaci se svislými a vodorovnými konstrukcemi za účelem vytvoření dostatečně pevného a tepelně izolovaného objektu, který splňuje zdejší požadavky na stavební konstrukce.

Hlavním prvkem těchto konstrukcí se stávají vysokohustotní stabilizované polystyrenové tvárnice o vysoké únosnosti, které v podstatě slouží jako ztracené bednění. Jednotlivé tvárnice mají obdobný tvar jako klasické stropní vložky montovaných systémů a jsou dodatečně vylehčeny o vzduchové dutiny, obdobně jako například u panelů SPIROLL, které přispívají k tepelné izolaci a mohou sloužit pro vedení například elektronických instalací. Prvky jsou převážně se samozhášivého polystyrenu a mají uzavřený povrch, tudíž, pokud není povrch porušený, jsou nenasákavé. Všechny systémy mají obdobně řešenou většinu detailů a mají téměř totožné vlastnosti. Rozdílem mezi jednotlivými systémy je především provedení dalšího vyztužení. Tvárnice v těchto systémech totiž slouží jako vylehčovací a tepelněizolační prvky, které vylehčují střešní konstrukci. Toto řešení vede k obdobnému způsobu zhotovení, jako například kazetové železobetonové desky. Na jednotlivé tvárnice se poté vytvoří další izolační vrstva pomocí vrchního dílce, opětovně z EPS. Tvárnice jsou často dodatečně vyztuženy uvnitř své struktury, nejčastěji pomocí propylenové konstrukce.

Železobeton a beton je v tomto případě použit jako prvek, který obdobně jako u kazetových železobetonových desek, vedle své nosné funkce, slouží také jako ochrana výztuže a polystyrenových vylehčovacích tvárníc. Konstrukce se plně vybední pomocí zmíněných tvárníc, které jsou vyneseny pomocí ocelových profilů. Na tyto tvárnice se dále podle potřeby a doporučení výrobce rozmístí výztuž, která je dále zalita. Konzistence betonové směsi je nutné uvažovat jako řídkší a vzhledem k materiálu bednění ideálně jako samozhutnitelná.

Vlastnosti jednotlivých systémů nejsou vzhledem k problematice dostupným informacím uvedeny. Jelikož se však jedná o kombinaci železobetonu a polystyrenu, je možné k těmto materiálům přistupovat jako k totožným prvkům objevujícím se na českém trhu. Rozdílem je únosnost polystyrenu, která se vzhledem k doplnění tvárnice o polypropylenovou kostru vyšší než u standartních polystyrenových desek. Zvláštností těchto systémů je použití tepelné izolace na straně interiéru a umístění parozábrany. Vzhledem k využití tepelněizolačního materiálu při vnitřním líci konstrukce je nutné zajistit eliminaci nadměrného vnášení vlhkosti do konstrukce vlivem difúze vodní páry.

B.2.9 „Disaster-resistant“ konstrukce hmotných šikmých střech

Tento typ střechy, či spíše komplexního konstrukčního systému celého objektu, je používán v zemích se zvýšeným rizikem přírodních katastrof. Setkáváme se s nimi v oblastech se

zvýšenou seizmickou aktivitou, nebo v lokalitách, které jsou trvale v ohrožení různými živelními pohromami, jako jsou masivní nárazové poryvy větru, tornáda, povodně a další nevyzpytatelné a další nepříznivé klimatické podmínky [28].

Nejedná se o jiný materiálový typ, který by přinášel odolnost vůči katastrofám, jako spíše o využití již existujícího železobetonového materiálu kapitoly B.2.5 *Železobetonové a slabě vyztužené betonové hmotné pláště*, alternativně poté kombinovaných materiálů kapitoly B.2.8 *Kombinované materiály*. Tyto systémy využívají svého masivního charakteru, kromě doposud zmíněných výhod, zejména jako ochrany vnitřního prostředí proti destruktivnímu sání či nárazům větru dosahujícímu rychlostem až $525 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ [28] a proti létajícím či jinak působícím troskám, ať již stavby samotné, nebo okolní zástavbě. Současně jejich ucelená a komplexní strukturální stabilita a celistvost dovolí překonat i silnou seizmickou aktivitu, či jiné destruktivní působení přírody, nebo člověka. Nejbližší charakteristikou systémů jsou vojenské objekty bunkrů, které využívají stejného, avšak značně naddimenzovanějšího přístupu a odlišných specifikací.

Těchto předností je dosaženo dodatečným vyztužením střešního pláště a zejména zcela klíčového protažení výztuže střešy skrze železobetonové věnce do zdiva, které je doporučeno opět charakteru železobetonu nebo kombinovaného materiálu viz **Obr. 1**.



Obr. 1 Disaster-resistant konstrukce šikmé hmotné střešy [28]

Stejnou analogii spojení konstrukcí lze nalézt také u provázání základových konstrukcí se stěnami. Je vhodné doplnit, že je nutné veškeré konstrukce za tímto účelem dimenzovat, ačkoliv by i běžně navržené zakládání nemělo působit problémy.

Hmotné systémy šikmých střešních pláštů se na území České republiky používají dle výše uvedených kapitol již dlouhodobě a z historického hlediska se nejedná o novinku. Limitace systémů je v širším použití. S výjimkou kombinovaných materiálů se zejména v posledních letech stále častěji dostáváme do pozice, kdy projektant, architekt nebo investor zvolí tento konstrukční systém z různých důvodů, ať finančních nebo tepelně technických. Je tedy přínosné zjistit jejich skutečné chování, zejména poté v otázce hustoty tepelného toku, difúzního toku a vlivu vyšší měrné, plošné a objemové tepelné kapacity na akumulaci tepelných zisků.

B.3 Šíření tepla ve stavebních konstrukcích

Šíření tepla ve stavebních konstrukcích je jedním z několika směrů, kterými se tato práce ve svých následujících kapitolách zabývá. Samotný princip šíření tohoto typu energie patří mezi

základní fyzikální děje, které se všeobecně u stavebních, zejména teplosměnných, konstrukcí sledují. Ačkoliv se tedy jedná o pomyslný základ, je před definováním jednotlivých způsobů přenosu tepla nutné definovat základní pojmy a veličiny, se kterými se setkáváme.

B.3.1 Základní pojmy a veličiny související s přenosem tepla

Teplo je energie, která je fyzikálně definovaná jako pohyb molekul a současně také fyzikální veličina se značkou Q . V případě stavební tepelné techniky lze teplo také definovat jako energii, kterou systém pomocí výměny, v tomto případě tepelné, předá do svého okolí nebo do jiného systému, s nímž je dočasně, nebo trvale ve styku, ať už se jedná o libovolné skupenství. Intenzita takto předané nebo naopak získané energie závisí na rozdílu teplot. Jednotkou tepla je joule $J [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}]$ a je jednou z odvozených jednotek SI. Tepelná energie je definována následujícím vztahem:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T [J] \quad (1)$$

kde Q množství tepelné energie [J],
 m hmotnost látky [kg],
 c měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
 T rozdíl počáteční a konečné teploty [K].

Měrná tepelná kapacita je dalším velmi důležitým pojmem, kterým se práce zabývá. Jelikož tato vlastnost přímo souvisí s akumulací tepla, práce se k tomuto pojmu ve svém dalším textu vrací. Měrná tepelná kapacita vyjádřená značkou c vyjadřuje množství tepla, které je nutné dodat k ohřátí 1 kg látky za stálého tlaku při stálé a neměnné vlhkosti právě o 1 K. Měrná tepelná kapacita je definována následujícím vztahem:

$$c = \frac{1}{m} \frac{\partial Q}{\partial T} [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (2)$$

kde Q množství tepelné energie [J],
 m hmotnost látky [kg],
 c měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
 T rozdíl počáteční a konečné teploty [K].

Objemová hmotnost značená ρ je charakterizována jako hmotnost materiálu v definovaném stavu o objemu 1 m³. Tato hmotnost je dána pro střední hustotu látky i s jeho dutinami a póry. Objemová hmotnost je definovatelná následující rovnicí:

$$\rho = \frac{m}{V} [kg \cdot m^{-3}] \quad (3)$$

kde ρ objemová hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 m hmotnost látky [kg],
 V objem látky [m³].

Plošná hmotnost značená ρ_s je charakterizována jako hmotnost materiálu v definovaném stavu o ploše právě 1 m². Ačkoliv se vlastnost vztahuje často pro konstrukční parametry plošných textilií a plošných konstrukcí obecně, nachází uplatnění také v našem případě u šikmých konstrukcí střech. Je dána následujícím vztahem:

$$\rho_s = \frac{m}{S} [kg \cdot m^{-2}] \quad (4)$$

kde ρ_s plošná hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-2}$],
 S plocha látky [m^2].

Tepelný tok značený Φ je množství tepelné energie, kterou látka absorbuje, nebo emituje za jednotku času. Jednotkou je watt $W [J \cdot s^{-1}]$. Tepelný tok jako takový v sobě zahrnuje veškeré způsoby přenosu tepla a je dán následujícím vztahem:

$$\Phi = \frac{\partial Q}{\partial t} [J \cdot s^{-1}] \quad (5)$$

kde Φ tepelný tok [$J \cdot s^{-1}$] = watt [W],
 Q množství tepelné energie [J],
 t čas [s].

Hustota tepelného toku značená q poté vyjadřuje množství nebo velikost tepelného toku, který projde za jednotku času právě $1 m^2$ plochy. Je tedy možné jej vyjádřit podle uvedeného vztahu:

$$q = \frac{\partial Q}{\partial t \cdot \partial S} = \frac{\partial \Phi}{\partial S} [W \cdot m^{-2}] \quad (6)$$

kde q hustota tepelného toku [$W \cdot m^{-2}$],
 Φ tepelný tok [$J \cdot s^{-1}$] = watt [W],
 Q množství tepelné energie [J],
 t čas [s],
 S plocha [m^2].

Teplotní gradient značený $grad \theta$ je ustálené vedení tepla, které je vyjádřeno podílem teplotního rozdílu a délky, kdy teplota mezi jednotlivými konci tělesa rovnoměrně klesá. Teplotní gradient je vyjádřen ve svém obecném tvaru následujícím vztahem:

$$grad \theta = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} = \frac{\partial \theta}{\partial x} [K \cdot m^{-1}] \quad (7)$$

kde $grad \theta$ gradient teploty [$K \cdot m^{-1}$],
 $\theta_2 - \theta_1$ teplotní rozdíl ustáleného vedení tepla [K],
 d délka [m],
 $\partial \theta$ diferenciál teploty ustáleného vedení [K],
 ∂x diferenciál polohy [m].

Součinitel tepelné vodivosti značený λ je významným ukazatelem u všech látek v tepelné technice, který vyjadřuje schopnost homogenního materiálu přenášet teplo pomocí vedení. Jako takový představuje velikost tepelného toku ve watech, který proudí homogenním materiálem o tloušťce $1 m$ a plochy $1 m^2$ při rozdílu teploty na protilehlých plochách o hodnotě $1 K$. Je vyjádřen následující závislostí:

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad \theta} [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (8)$$

kde λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],

→ q vektor hustoty tepelného toku přenášeného pouze vedením [$W \cdot m^{-2}$],
 $grad\theta$ gradient teploty [$K \cdot m^{-1}$].

Součinitel teplotní vodivosti značený α i přes svůj zdánlivě stejný název s předchozím termínem vyjadřuje schopnost homogenního materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty v tělese samotném. Lze jej tedy označit za rychlost vyrovnání teploty, který je definován jako podíl součinitele tepelné vodivosti a součinu objemové hmotnosti materiálu a měrné tepelné kapacity. Je vyjádřen rovnicí o následující podobě:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (9)$$

kde α součinitel teplotní vodivosti [$m^2 \cdot s^{-1}$],
 λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
 ρ objemová hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 c měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$].

B.3.2 Šíření tepla

Šíření tepla, tedy přenos energie jako takové nastává, pokud jsou v různých místech prostředí, látky, nebo v našem případě například stavební konstrukce rozdílné teploty. Směr přenosu je řízen dle výše zmíněných fyzikálních vztahů, tedy z míst s vyšší energií, teplotou, do míst s energií nižší, tedy do míst chladnějších. Nastává tak vyrovnání energie.

Samotný přenos lze rozdělit v závislosti na prostředí, ve kterém šíření nastává na celkem tři složky, které jsou téměř vždy v kombinaci, a sice vedení (kondukce), proudění (konvekce) a záření (radiace).

Z hlediska šíření tepla v čase rozlišujeme dva stavy, a sice ustálený teplotní stav a neustálený teplotní stav. Jak názvy napovídají, změna je vyvolána změnou okrajových podmínek, tedy teplot v čase mezi protilehlými stranami tělesa nebo mezi jednotlivými body v látce, které je možné definovat pomocí prostorových souřadnic x , y , z a časem t a přepsat tak do vzájemné závislosti:

$$\theta = \theta(x, y, z, t) \quad (10)$$

B.3.3 Kondukce

Prvním ze způsobů šíření tepla je kondukce, kdy částice látky nebo prostředí ve kterém přenos probíhá, mají vyšší kinetickou energii, kterou předávají prostřednictvím vzájemných kolizí energií částicím ve své oblasti, které mají naopak nižší kinetickou energii. Částice jako takové jsou stacionární a nepřemísťují se v prostoru, avšak kmitají kolem své rovnovážné polohy. Podmínkou kondukce je bezprostřední kontakt jednotlivých částic a předpoklad vzniku rozdílu teplot ať již v rámci jednoho tělesa, nebo více těles. Výpočet přenosu tepla kondukcí vychází ze základního fyzikálního zákonu, a sice zákonu o zachování energie. V rámci zjednodušení se zejména ve stavební fyzice a tepelné technice vyskytuje zjednodušení, tedy již zmíněný ustálený teplotní stav, který ze svého řešení vypouští neznámou proměnnou t , čas, což je možné vyjádřit jako $\partial \theta / \partial t = 0$. Pokud problematiku zjednodušíme na jednorozměrné šíření tepla, dostáváme první Fourierův zákon, který popisuje stacionární vedení tepla vyjádřitelný následovně.

$$\vec{q}_x = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} = -\lambda \cdot \text{grad}\theta [W \cdot m^{-2}] \quad (11)$$

kde λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
 \vec{q}_x vektor hustoty tepelného toku přenášeného pouze vedením vektoru x [$W \cdot m^{-2}$],
 $\text{grad}\theta$ gradient teploty [$K \cdot m^{-1}$],
 x poloha předmětného bodu [m].

Pokud vyjdeme z tohoto předpokladu a šíření tepla ve všech směrech, tedy x , y a z , je možné přepsat Fourierův zákon pro stacionární vedení tepla do vektorového tvaru:

$$\vec{q} = (q_x, q_y, q_z) = -\lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial x}, \frac{\partial \theta}{\partial y}, \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) [W \cdot m^{-2}] \quad (12)$$

kde θ teplota [K],
 x, y, z souřadnice [m],
 λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$].

Ustálené vedení tepla, alternativně **ustálený teplotní stav**, jako takové je možné opětovně rozepsat na diferenciální rovnici, při níž uvažujeme absenci vnitřních zdrojů tepla, tedy $Q = 0$. Dostáváme tak Laplaceovu rovnici vyjadřující bilanci mezi tepelnou energií vstupující a vystupující z materiálu určitým směrem v následujícím tvaru:

$$-\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(-\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + Q = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (13)$$

Tato rovnice se dá následně přepsat do jiného tvaru:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + Q = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (14)$$

Následně, pokud se zaměříme na celkový objem tělesa, rozšiřujeme rovnici o zbývající rozměry a dostáváme výsledný tvar:

$$\lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + Q = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (15)$$

kde θ teplota [K],
 x, y, z souřadnice [m],
 ρ objemová hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 c měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
 Q množství vnitřní tepelné energie o hodnotě 0 [J],
 t čas [s],
 λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$].

Zjednodušením a vyjádřením součinitele teplotní vodivosti dostáváme další tvar:

$$\alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (16)$$

kde α součinitel teplotní vodivosti [$m^2 \cdot s^{-1}$].

Pokud vycházíme z předpokladu nulové změny teploty v čase, tedy $t = 0$, můžeme pravou část rovnice (13) rozepsat následovně:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad (17)$$

kde θ teplota [K],
 t čas [s].

Z levé strany rovnice (16) můžeme za předpokladu platnosti nulové změny teploty v čase, tedy rovnice (17), pomocí Laplaceovy rovnice zjednodušit tvar a dostat tak rovnici vyjadřující bilanci mezi tepelnou energií vstupující a vystupující z elementárního objemu materiálu pomocí vedení ve svém trojrozměrném tvaru vyjádřeném uvedenou rovnicí:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = 0 \quad (18)$$

Neustálené vedení tepla, alt. neustálený teplotní stav, tedy opak k rovnicím (12) až (18) následně znamená, že teploty v dílčích bodech, jenž jsou dané svojí polohou, podléhají funkci času a mění v něm svou hodnotu, tedy platí $t \neq 0$, alternativně že se v tělese či látce nachází vnitřní zdroj tepla $Q \neq 0$. Tato změna se tedy projevuje na následujících dvou rovnicích:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} \neq 0 \quad (19)$$

Pro neustálené vedení tepla vyjádřeném pomocí diferenciální rovnice v Laplaceově tvaru pro trojrozměrná tělesa následně platí rovnicí vyjádřený vztah:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \neq 0 \quad (20)$$

B.3.4 Konvekce

Způsob přenosu tepelné energie konvekcí typicky nastává v kapalinách a plynech, kdy se na molekulární úrovni molekuly po přivedení tepelné energie rozpínají. Při nárůstu teploty se musí ve stejném poměru zvětšovat i objem média. Přírozené proudění nastává v důsledku změny objemové hmotnosti kapalin a plynů v závislosti na změně teploty. Dochází tak ke vzniku vztakových sil, které mají za následek stoupání teplého média směrem vzhůru. Nucené proudění je vyvoláno jiným vnějším činitelem, například ventilátorem, který látce/médiu udílí hybnost. V závislosti na rychlosti dále rozlišujeme proudění laminární a turbulentní. V případě, že je rychlost proudění malá, dochází obvykle k laminárnímu proudění. Toto proudění je tedy zcela typické pro většinu vnitřních prostor. Vlivem viskozity vzduchu se při povrchu pevné látky vytváří takzvaná mezní vrstva, která má těsně při povrchu nulovou rychlost proudění a s vzdáleností od povrchu dochází k plynulému nárůstu této rychlosti.

Při vyšších rychlostech je tak možno pozorovat již zmíněné turbulentní proudění, které vytváří na povrchu materiálu turbulence. Tyto turbulence intenzivně promíchávají proudící médium, což má za následek zintenzivnění přestupových jevů. Exaktní řešení přestupu tepla za reálných podmínek bývá náročné a je řešeno nejčastěji pomocí počítačové simulace za pomoci

metody konečných prvků. Pro výpočty však platí Newtonova okrajová podmínka, která je popisována uvedenou rovnicí:

$$\Phi = \alpha \cdot S \cdot (\theta_s - \theta_{ai}) [W] \quad (21)$$

kde Φ tepelný tok [$J \cdot s^{-1}$] = watt [W],
 α koeficient přestupu tepla prouděním [W],
 S plocha [m^2],
 θ_s teplota povrchu vystaveného konvekci [$^{\circ}C$],
 θ_{ai} teplota vzduchu [$^{\circ}C$].

Součinitel přestupu tepla α je vyjádřen mezi povrchem stěn a proudícím médiem ve směru normály n k povrchu. Pro určení součinitele přestupu tepla konvekci je využíváno řady experimentálních měření, které jsou následně zpracovány do kritériálních rovnic, jejichž platnost je omezena rozsahem měření. Je důležité říct, že není možné stanovit univerzální rovnici pro všechny podmínky přestupu tepla konvekci. Za tímto účelem tak byla stanovena obecná kritériální rovnice sdílení tepla konvekci daná následujícím tvarem:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, Fo, Po, \xi_x, \xi_y, \xi_z) \quad (22)$$

kde

Kritérium	Značka	Vzorec	Popis	
Nusseltovo	Nu	$Nu = \frac{\alpha_{kon} \cdot l}{\lambda}$	Sdílení tepla konvekci.	(23)
Reynoldsovo	Re	$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}$	Poměr setrvačných a vazných sil.	(24)
Grashoffovo	Gr	$Gr = \frac{g \cdot \gamma \cdot \Delta\theta_T \cdot l^3}{\nu^2}$	Přirozená konvekce skutečné tekutiny.	(25)
Prandtlovo	Pr	$Pr = \frac{\nu}{a}$	Sdílení tepla v tekutinách.	(26)
Fouriérovovo	Fo	$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}$	Rychlost šíření tepla v tělese při bezrozměrném čase.	(27)
Pomerancevovo	Po	$Po = \frac{q_v \cdot l^2}{\lambda \cdot \Delta\theta_T}$	Teplotní pole s vnitřním objemovým zdrojem.	(28)
-	ξ_x, ξ_y, ξ_z	-	Bezrozměrné souřadnice	(29)

Jde tedy o zdlouhavý výpočet, kterým postupně a díky vyjadřování neznámých po dosazení do jednotlivých rovnic dostaneme hledanou neznámou, součinitel přestupu tepla. Jednotlivé veličiny, které vstupují do těchto vztahů jsou blíže popsány ve zdrojové literatuře [29] a [30] nebo dalších zdrojích práce.

B.3.5 Radiace

Každý hmotný objekt, který vykazuje vyšší teplotu, než je absolutní termodynamická teplota, současně vyzařuje elektromagnetické vlnění. Na rozdíl od konvekce, nebo kondukce, není radiace vázána na hmotné prostředí a probíhá i ve vakuu. Principem elektromagnetického záření je pohyb vnitřních částic hmoty, které se poté stávají dipólovými zářiči emitujícími elektromagnetické vlnění. Toto vlnění neboli vlnová délka, společně s intenzitou záření závisí na teplotě a materiálové charakteristice materiálu. Radiace je popsána pomocí následujících fyzikálních vztahů.

Stefan-Boltzmannův zákon vyjadřuje vztah pro hustotu tepelného toku vyzařovaného povrchem tělesa, konkrétně vyzařování černého tělesa:

$$H = \varepsilon \cdot C_{\varepsilon} \cdot \theta_T^4 [W \cdot m^{-2}] \quad (30)$$

kde: H intenzita vyzařování povrchu [$W \cdot m^{-2}$],
 ε emisivita povrchu tělesa, pro absolutně černé těleso = 1 [-],
 C_{ε} Stefan-Boltzmannova konstanta [cca $5,67032 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$],
 θ_T termodynamická teplota tělesa [K].

Planckův vyzařovací zákon vyjadřuje spektrální rozložení vyzářené energie a uvažuje dokonale černé těleso a lambertovský povrch (ideálně matný, ideálně difúzní povrch, odráží světelnou energii do všech směrů). Dochází k vyzařování do celého poloprostoru s emisivitou rovnou jedné. Zákon je vyjádřen dále uvedeným tvarem:

$$H_{\lambda 0} = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot \exp\left(\frac{h \cdot c}{k \cdot \lambda \cdot \theta_T} - 1\right)} [W \cdot m^{-3}] \quad (31)$$

kde: $H_{\lambda 0}$ spektrální vyzařování absolutně černého tělesa [$W \cdot m^{-3}$],
 λ vlnová délka elektromagnetického záření [m],
 h Planckova konstanta [$6,62618 \cdot 10^{-34} J \cdot s$],
 c rychlost světla ve vakuu [$299\,792\,482 m \cdot s^{-1}$],
 k Boltzmannova konstanta [$1,38066 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$],
 θ_T termodynamická teplota tělesa [K].

Wienův posunovací zákon konstatuje, že záření absolutně černého tělesa je maximální energie vyzařována na vlnové délce, která se s rostoucí termodynamickou teplotou snižuje:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{\theta_T} [m] \quad (32)$$

kde: λ_{max} vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování [m],
 b Wienova konstanta [$2,8987729 \cdot 10^{-3} m \cdot K$].

Kirchhoffův zákon popisuje vztah emisivitou a pohltivostí. Elektromagnetické vlnění, které dopadá na pevnou látku může být v závislosti na vlnové délce buď odraženo s podílem ρ_r , pohlceno s podílem α_r , nebo transmittováno s podílem τ_r . Podle zákona o zachování energie musí současně platit předpoklad daný následující rovnicí:

$$\rho_r + \tau_r + \alpha_r = 1 \quad (33)$$

kde ρ_r poměrná odrazivost (reflektance),
 α_r poměrná pohltivost (absorbance),
 τ_r poměrná průteplivost (transmitance).

U většiny materiálů současně platí, že složka průchodu vlnění na vlnové délce odpovídající infračervenému záření je rovna nule. Materiály jsou z hlediska tepelného záření neprostupné a dostáváme tedy rovnici o uvedeném vztahu:

$$\rho_r + \alpha_r = 1 \quad (34)$$

Po zjednodušení dostáváme úpravu:

$$\alpha_r = 1 - \rho_r ; \rho_r = \alpha_r - 1 \quad (35)$$

Z tohoto zákona dále vyplývá, že absorbance α , tedy míra pohltivosti dopadajícího záření, je rovna úrovni vyzařování energie z povrchu tělesa, tedy již dříve zmíněné emisivitě ε . Dále platí, že emisivita je doplňkem reflektance, tedy míry odrazivosti povrchu a naopak. Platí uvedený vztah:

$$\alpha\lambda = \varepsilon\lambda \quad (36)$$

Vztah je se v praxi projevuje například tak, že povrch s nízkou emisivitou se nejenom díky radiaci déle ohřívá, ale také po přerušení tepelného toku zářením déle chladne.

Odvozením z těchto zákonů, zejména poté Stefan-Boltzmannova a Kirchhoffova zákona dostáváme možnost odvození vzorce emisivity zářiče ve tvaru uvedené rovnice:

$$\varepsilon = \frac{H}{H_b} = \frac{\alpha \cdot C_b \cdot \left(\frac{\theta_T}{100}\right)^4}{C_b \cdot \left(\frac{\theta_T}{100}\right)^4} [-] \quad (37)$$

kde H intenzita vyzařování povrchu šedého zářiče [$W \cdot m^{-2}$],
 H_b intenzita vyzařování povrchu černého zářiče [$W \cdot m^{-2}$],
 ε emisivita povrchu tělesa $0 < 1 [-]$,
 α pohltivost povrchu tělesa $0 < 1 [-]$,
 C_b Stefan-Boltzmannova konstanta [cca $5,67032 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$].

Z výše uvedeného je tedy možné vyvodit následující dva vzorce. Prvním vzorcem je zářivý tok, který pro absolutně černé těleso můžeme vyjádřit tvarem rovnice:

$$\Phi_e = \frac{\partial Q_e}{\partial t} [W] \quad (38)$$

kde Φ_e tepelný tok vyzářením [$J \cdot s^{-1}$] = watt [W],
 Q_e množství zářivé tepelné energie [J] vypočítané součinem intenzity vyzařování povrchu a plochy,
 t čas [s].

B.3.6 Prostup tepla konstrukcí a její posouzení

Prostup tepla je mechanismus přenosu tepelné energie, kdy teplo přechází od teplejší části konstrukce ke chladnější, kde následně nastává výměna s okolním prostředím, nejčastěji vzduchem. Podmínkou je rozdílná teplota konstrukce a okolního prostředí.

Celkový postup pro posouzení sestává z kompletního výpočtu a dosazení do všech výše uvedených rovnic. Vzhledem k problematickému a značně časově náročnému výpočtu se v rámci přechodu tepla na vnitřní a vnější straně u teplosměnných stavebních konstrukcí, kde se podílí na výměně proudění a salání, tak dochází v případě normového výpočtu ke značnému zjednodušení. Zavádí se tak dva součinitele přestupu tepla zohledňující směr tepelného toku.

Součinitel přestupu tepla na straně interiéru označovaný h_{si} a součinitel přestupu tepla na straně exteriéru je následně označován jako h_{se} . Oba součinitele v sobě zahrnují vlastnosti jako charakter konstrukce, teplotu a rychlost proudění, emisivitu povrchu a další. V rámci výpočtu jsou tyto hodnoty vyjádřeny jako součást odporu při přestupu tepla a jejich hodnota vychází z normy ČSN 73 0540-3 [7]. Výpočet tepelného odporu při vnější R_{se} a vnitřní R_{si} straně teplosměnné konstrukce se následně vypočítá podle velmi známých a dále uvedených vzorců:

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}}; R_{se} = \frac{1}{h_{se}} [W] \quad (39)$$

(40)

kde R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 h_{se} součinitel přestupu tepla na vnější straně [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
 h_{si} součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

Tyto vzorce vyjadřují výrazné zjednodušení, které vstupuje do samotného hodnocení konstrukce. Nezohledňují však samotný tepelný odpor konstrukce, který vzniká jako podíl tloušťky dané vrstvy a součinitele tepelné vodivosti. Z tohoto jednoduchého vztahu tak dostáváme rovnici o následujícím tvaru:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}] \quad (41)$$

kde R_i tepelný odpor i -té vrstvy konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 λ_i součinitel tepelné vodivosti i -té vrstvy [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
 d tloušťka vrstvy [m].

Abychom dostali ztrátu samotné konstrukce ve watttech a současně zakomponovali do samotného tepelného toku všechny jeho složky, tedy R_i , R_{se} a R_{si} , dostáváme vzorec součinitele prostupu tepla U :

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (42)$$

kde $\sum R_i$ tepelný odpor všech vrstev konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 U součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

B.4 Šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích

Šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích je dalším směrem, který práce bude v následujících kapitolách zkoumat. Vlhkost jako taková je neodmyslitelnou součástí každé stavební konstrukce a současně jedním z rozhodujících aspektů, které se v rámci stavby jako takové sledují. Tato část v mnohém navazuje také na problematiku šíření tepla, která je popsána v předešlých kapitolách.

B.4.1 Druhy vlhkosti ve stavebních látkách a konstrukcích

Druhy vlhkostí ve stavebních materiálech, stejně jako ve stavebních konstrukcích jsou přirozenou součástí. Co se týče jejího projevu, setkáváme se s různými formami, které se velmi často projevují současně a jejich vzájemná interakce spolu souvisí, byť je velmi problematicky definovatelná. Z hlediska zdrojů se dle Fokina [29] a Halahyja [30] setkáváme u stavebních konstrukcí s vlhkostí:

- **stavební**, tedy zabudovanou ze stavebních procesů;
- **zemní** pocházející z kontaktu konstrukcí se zeminou;
- **atmosférickou** vnikající do konstrukcí vlivem dešťových a sněhových srážek;
- **hydroskopickou** nebo také sorpční, vnikající a následně vázanou v materiálu;
- **zkondenzovanou** ze vzduchu nebo difúzním tokem probíhajícím v materiálu;
- **technologickou** vnikající do konstrukce z provozu a užívání objektu.

Je tedy jasné, že z hlediska skupenství se ve stavebních látkách a konstrukcích vyskytuje vlhkost ve všech formách. Vzhledem k různým okrajovým podmínkám působícím na konstrukce mohou působit všechny formy současně. Dále je důležité pochopit různé druhy a charaktery spojení vlhkosti s látkami, podle které lze definovat na vlhkost:

- **volnou** (není spojena s molekulami látky a je možné jí vhodnou metodou odstranit);
- **vázanou** (tvoří se v důsledku vazby s molekulami), která je charakterizována z hlediska fyzikálně-chemických vlastností:
 - slabě, nebo vůbec nerozpustí látky, které jsou rozpustné ve volné vodě,
 - má měrnou tepelnou kapacitu nižší, než je obvyklá hodnota a přibližně rovnou měrnému teplu ledu,
 - zamrzá pouze při velmi nízkých teplotách pod bodem mrazu,
 - má vyšší hustotu se srovnáním s volnou vlhkostí,
 - je neelektrovodivá a neobsahuje rozpustné látky umožňující tuto vodivost.

Rozdělení vazeb bylo dále upřesněno z teorie Rebindera, který ve své práci definoval následující druhy vazby mezi materiálem a vlhkostí.

- **Chemická vazba** – nejodolnější vazba, která se neodstraňuje během sušení.
- **Fyzikálně-chemická vazba** – vazba méně pevná, kdy tato skupina vazeb zahrnuje absorpčně a osmoticky vázanou vlhkost.
- **Mechanická vazba** – nejslabší, udržuje se díky obsazení makrokapilár a mikrokapilár, neliší se vlastnostmi od volné vody, vlhkost nazýváme také kapilárně vázanou.

V rámci povahy provedeného měření v rámci výzkumu a tématu se tato práce zabývá z hlediska vlhkosti primárně problematikou transportu vlhkosti difúzí a sorpční vlhkostí, kdy je důležité definovat pojmy **izoterma sorpce** (vlhčení) a **izoterma desorpce** (sušení).

B.4.2 Základní pojmy a veličiny související s přenosem vlhkosti

Sorpce je schopnost látky přijmout vodní páru nebo vlhkost z okolního prostředí, která do tělesa, nebo konstrukce vniká nejčastěji pomocí rozdílu parciálních tlaků. Tlak následně závisí na teplotě okolního prostředí, nejčastěji tedy směsi plynů, vzduchu. Dle Daltonova zákona je možné celkový tlak vyjádřit jako součet dílčích parciálních tlaků obsažených ve směsi a je možné jej definovat pomocí vztahu daného následující rovnicí:

$$P = \sum_{i=1}^n p_i \text{ [Pa]} \quad (43)$$

kde P celkový tlak plyné směsi [Pa],
 p_i parciální tlak dílčích plynů přítomných ve směsi [Pa].

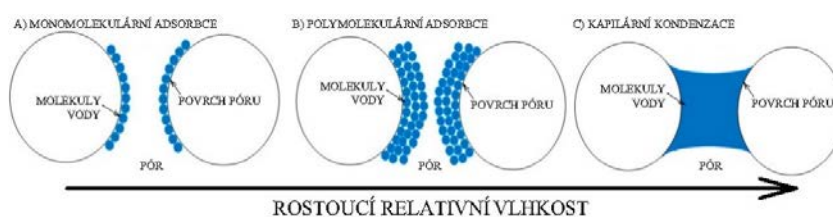
Adsorpce je proces, při kterém dochází k hromadění částic plynu nebo kapaliny na fázovém rozhraní (povrchu látky) vlivem mezipovrchových Van der Waalsových přitažlivých sil [31]. Rozlišujeme dva druhy adsorpce.

- **Fyzikální adsorpce** vzniká právě pomocí zmíněných Van der Waalsových přitažlivých sil. Vazby se uvolní při dodání energie na uvolnění těchto vazeb.
- **Chemisorpce** je proces, kdy je vlhkost v krystalické struktuře látky chemicky vázána. Takové vazby jsou tedy pevnější než fyzikálně vytvořené. Při dodání energie, tedy zvýšení teploty, dochází k jejímu uvolnění z vazby. Při poklesu teploty je vlhkost zpětně absorbována.

Absorpce je proces, při kterém dochází k hromadění částic plynu nebo kapaliny v celém objemu látky. Pokud dojde v látce k sorpčnímu nasycení v maximální možné míře, látka následně přestane přijímat vodní páry ze vzduchu a dochází ke kondenzaci vlhkosti v kapilárách látky. Tomuto jevu předchází následující stádia:

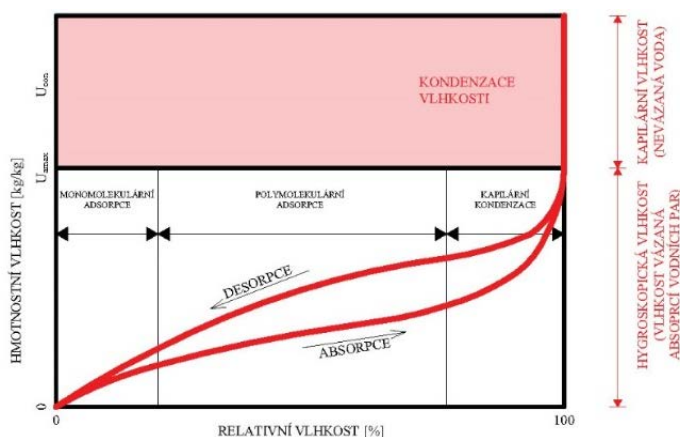
- **monomolekulární adsorpce** – počátek hromadění molekul vody,
- **polymolekulární adsorpce** – zúžení pórů/kapilár,
- **kapilární kondenzace** – počátek působení Van der Waalsových sil a spojení molekul skokovým procesem.

Jev je možné popsat pomocí následujícího obrázku viz **Obr. 2**:



Obr. 2 Mechanismus vzniku kapilární kondenzace [32]

Jev je také možné vyobrazit pomocí následujícího grafu viz **Graf 1**.



Graf 1 Proces sorpce vodní páry u pórovitého materiálu s popisem stádií [32]

Desorpce je proces uvolnění částic plynu nebo kapaliny v celém objemu látky.

Porozita n_x je obsah vzduchových dutin (pórů) ve stavební látce, nebo materiálu. Udává se jako podíl objemu pórového prostoru v materiálu v procentech objemu. Je možné ji měřit vyplněním volného prostoru například kapalinou. Některé materiály, mezi něž patří například i plynosilikát charakterizuje vysoká hodnota porozity, která je dána následujícím vztahem:

$$n_x = \frac{V_p}{V_c} [-] \quad (44)$$

kde n_x celková porozita [-],
 V_p objem pórového prostoru [m^3],
 V_c objem celkového prostoru [m^3].

Hmotnostní vlhkost w_h a vlhkost materiálů všeobecně je množství vody v jejím libovolném skupenství, které je obsažené v pórovitém prostředí látky. Hmotnostní vlhkost je následně vztažena k hmotnosti vlhkosti a celkové hmotnosti dané látky a je možné jej vyjádřit následující rovnicí:

$$w_h = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} = \frac{m_k}{m_d} [-] \quad (45)$$

kde w_h hmotnostní vlhkost [-],
 m_w hmotnost vlhkého materiálu [kg],
 m_d hmotnost suchého materiálu [kg],
 m_k hmotnost kapaliny obsažené v materiálu [kg].

Objemová vlhkost w_v je obdobou hmotnostní vlhkosti, která je však vztažena k objemu a nikoliv hmotnosti. Je možné jí vyjádřit následovně:

$$w_v = \frac{V_v}{V_d} = \frac{(m_w - m_d)}{\rho_k \cdot V_d} = \frac{w_h \cdot \rho_d}{1000} [-] \quad (46)$$

kde w_v objemová vlhkost [-],
 V_v objem volné vody [m^3],
 V_d objem suchého materiálu [m^3],
 ρ_k hustota vody [$kg \cdot m^{-3}$],
 ρ_d objemová hmotnost suchého materiálu [$kg \cdot m^{-3}$].

Vlhkostní bilance poté představuje srovnání jednotlivých změřených hodnot hmotnostních vlhkostí stavebních materiálů w_h s vlhkostí materiálu w'_h , který je zcela nasycen vodou. Výsledkem je stupeň nasycení ψ_{sn} vyjadřující míru prosycení. Stupeň nasycení je dán následovně:

$$\psi_{sn} = \frac{w_h}{w'_h} [-] \quad (47)$$

kde ψ_{sn} stupeň nasycení [-],
 w_h změřená hodnota hmotnostní vlhkosti [-],
 w'_h hmotnostní vlhkost vzorku zcela nasyceného vodou [-] vypočítaná dle vztahu (40) se vzorkem zcela nasyceným vodou.

Obdobný výpočet je možné použít i na zjištění relativní vlhkosti vzduchu, která udává poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu m a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku, stejné teplotě a při maximálním nasycení vodními parami M .

Sorpční vlhkost je vlhkost, jenž je rovnovážná. Znamená, že parciální tlak vodní páry ve vzduchu a látky se stejný. Závisí tedy na teplotě, relativní vlhkosti a barometrickém tlaku.

Rovnovážný stav sorpční vlhkosti látky závisí na teplotě, relativní vlhkosti vzduchu a barometrickém tlaku. Pro popis závislosti tohoto stavu a relativní vlhkosti vzduchu při konstantní teplotě se pro účely stavební fyziky používají již zmíněné izotermy sorpce a desorpce.

Adsorpční a desorpční izotermy, jak bylo popsáno výše, popisují závislost sorpční vlhkosti, v tomto případě látky, a relativní vlhkosti vzduchu při konstantní teplotě. Jak je možné vidět z **Grafu 1**, tak u pórovitého materiálu dochází při 100 % relativní vlhkosti k souběžnému dosažení adsorpční kapacity. Pokud po dosažení této hodnoty následně dochází ke kondenzaci nebo k výparu, izoterma sorpce a desorpce není stejná a nevztahuje se na vlhkost ve změněném, zkondenzovaném stavu. Pro tento problém se míra tepla a vlhkosti pro změnu fáze používá současně jako zdroj tepla a vlhkosti. Lze tedy rovnováhu mezi vlhkostí a teplem napsat do vzorců, které popisují průběhy izoterm:

$$\rho \xi \frac{1}{P_{v,sat}} \frac{\partial P_v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (J_l + J_v) = -\dot{m} \quad [kg \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}] \quad (48)$$

$$\rho c_p \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (h_l J_l + h_v J_v) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_e \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) - \dot{Q}_{pha} \quad (49)$$

kde \dot{m} kondenzační / evaporační rychlost u pórovitých materiálů $[kg \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}]$,
 \dot{Q}_{pha} teplo kondenzace, nebo evaporace $[J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}]$,
 J_v vlhkostní tok vodní páry $[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$,
 J_l vlhkostní tok kondenzátu $[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$,
 ξ sklon izotermy absorbce u pórovitého materiálu [-],
 $P_{v,sat}$ tlak nasycené vodní páry [Pa],
 P_v tlak vodní páry [Pa],
 θ teplota [K, °C],
 t čas [s],
 ρ hustota porézního materiálu $[kg \cdot m^{-3}]$,
 h_l latentní teplo/entalpie vlhkostního toku kondenzátu $[J \cdot kg^{-1}]$,
 h_v latentní teplo/entalpie vlhkostního toku vodní páry $[J \cdot kg^{-1}]$,
 λ_e součinitel prostupu tepla $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$.

B.4.3 Difúzní tok

Difúzní tok g nebo také vlhkostní tok $[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$ je množství vlhkosti, kterou látka absorbuje za jednotku času. Stejně jako u tepelného toku tak i u vlhkostního toku, nebo proudění vodní páry skrze konstrukci či materiál, můžeme pozorovat téměř totožnou analogii. Obdobně jako u tepla dochází při vytváření vnitřního prostředí, jenž je nezávislé na proměnách vnějšího klimatu, ke značným rozdílům mezi vlhkostí vzduchu, resp. teploty vzduchu v exteriéru a interiéru viz kapitola B.3 *Šíření tepla ve stavebních konstrukcích*. Vyrovnáním těchto rozdílů vzniká předmětný vlhkostní tok. Směr difúzního toku je dán snahou vyrovnání existujících tlakových rozdílů z místa s vyšším parciálním tlakem vodní páry do místa s nižším parciálním tlakem. Tento transport je nazýván difúze. Při difúzi se uplatňují dva mechanismy a sice gradient teploty (7) a gradient parciálního tlaku vodní páry, nebo gradient parciální hustoty vodní páry.

Gradient parciálního tlaku vodní páry značený $grad p_v$, jehož jednotkou je $Pa [kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}, alt. N \cdot m^{-2}]$ na metr běžný m je možné vyjádřit jako následující rovnici:

$$grad p_v = \frac{\partial p_v}{\partial x} [Pa \cdot m^{-1}] \quad (50)$$

kde $grad p_v$ gradient parciálního tlaku vodní páry $[Pa \cdot m^{-1}]$,
 ∂p_v diferenciál tlaku vodní páry $[Pa]$,
 ∂x diferenciál polohy $[m]$.

Gradient parciální hustoty vodní páry značený $grad \rho$, taktéž označovaný jako **gradient koncentrace** $grad C$, jehož jednotkou je $[kg \cdot m^{-4}, alt. mol \cdot m^{-4}]$ je dán uvedeným vztahem:

$$grad \rho = \frac{\partial \rho}{\partial x}; grad C = \frac{\partial C}{\partial x} [kg \cdot m^{-4}; mol \cdot m^{-3}] \quad (51)$$

kde $grad \rho$ gradient parciální hustoty vodní páry $[kg \cdot m^{-4}]$,
 $grad C$ gradient koncentrace $[mol \cdot m^{-4}]$,
 $\partial \rho$ diferenciál hustoty $[kg \cdot m^{-4}]$,
 ∂C diferenciál koncentrace $[mol \cdot m^{-4}]$.

Jelikož samotný transport vlhkosti je velmi komplikovaný, dochází ke značnému zjednodušení pomocí **1. Fickova zákona difúze**, který popisuje transport vlhkosti dle vzorce:

$$g = -D \cdot grad C [kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}; mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}] \quad (52)$$

kde g hustota difúzního toku $[kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}; mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}]$,
 D difúzní součinitel $[m^2 \cdot s^{-1}]$,
 $grad C$ gradient koncentrace $[mol \cdot m^{-4}]$.

Rovnice (52) však neodpovídá ve všech směrech realitě a jedná se o tzv. čistou difúzi, kde je uvažována jako hnací síla právě koncentrace, v našem případě gradient koncentrace a součinitel difúze, který zohledňuje vliv vnitřních okrajových podmínek materiálu. Současně říkáme, že se koncentrace nemění v čase. Analogicky s teplotním tokem tedy lze říct, že se jedná o ustálený difúzní tok.

Ve stavební fyzice jako takové se však setkáváme s úpravou této rovnice. Jelikož je stanovení koncentrace a součinitele difuze problematické, je gradient koncentrace nahrazen gradientem parciálního tlaku vodní páry. Jelikož dále vstupuje do výpočtu již konkrétní materiál, dochází k nahrazení difuzního součinitele součinitelem difuzní vodivosti materiálu. Dostáváme tak vztah vyjádřitelný uvedenou rovnicí:

$$g = -\delta \cdot \text{grad } p_v = -\left(\delta_x \cdot \frac{\partial p_v}{\partial x}, \delta_y \cdot \frac{\partial p_v}{\partial y}, \delta_z \cdot \frac{\partial p_v}{\partial z}\right) [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (53)$$

kde g hustota difuzního toku [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$],
 $\text{grad } p_v$ gradient parciálního tlaku vodní páry [$\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$],
 δ součinitel difuze vodní páry v příslušném materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$],
 x, y, z souřadnice [m].

Difuzní tok je velmi komplexní záležitostí a existuje celá řada metod, kterými je možné jej spočítat. Metody je možné teoreticky rozdělit podle přesnosti, se kterou počítají. První metodou, se kterou se tedy v případě stavebních konstrukcí setkáváme je Glaserova metoda.

B.4.4 Glaserova metoda a z ní plynoucí vlastnosti materiálů

Glaserova metoda je jednou z nejrozšířenějších metod výpočtu vlhkosti v konstrukcích jak na území České republiky, tak pro většinu evropských zemí. Metoda uvažuje zjednodušení ve smyslu zahrnutí pouze transportu vlhkosti ve stavu páry. Výpočet samotný je následně založen na nalezení kondenzační oblasti uvnitř konstrukce a metoda je pak popsána normami ČSN 73 0540-4 [8] a ČSN EN ISO 13788 [33]. Výpočet difuzního toku je poté dán rovnicí:

$$g = \delta_p \cdot \frac{\Delta p}{d} = \frac{\delta_0}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{d} = \delta_0 \cdot \frac{\Delta p}{s_d} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (54)$$

kde δ_p součinitel difuze vodní páry v příslušném materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$],
 δ_0 součinitel difuze vodní páry vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$],
 μ faktor difuzního odporu [-],
 s_d ekvivalentní difuzní tloušťka [m],
 Δp rozdíl parciálních tlaků vodní páry [Pa],
 g hustota difuzního toku [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$],
 d tloušťka materiálu [m].

Do vztahu vstupují nové fyzikální veličiny faktoru difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťka. Ze vztahu lze lépe vyjádřit součinitel difuze vodní páry několika způsoby.

Součinitel difuze vodní páry značený δ_p , alternativně známý jako součinitel difuzní vodivosti vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru a je dán uvedeným vztahem:

$$\delta_p = \frac{\partial m}{\partial t \cdot S} \cdot \frac{\partial x}{\partial p_v} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}] \quad (55)$$

kde δ_p součinitel difuze vodní páry v příslušném materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$],
 ∂m diferenciál hmotnosti soustavy [kg],
 ∂t diferenciál času [s],
 ∂x diferenciál polohy [m],

∂p_v *diferenciál tlaku vodní páry [Pa],*
 S *plocha přes kterou probíhá difuzní tok [m²].*

Součinitel difuze vodní páry vzduchu značený δ_0 , alternativně známý jako součinitel difúzní vodivosti vzduchu vyjadřuje schopnost vzduchu propouštět vodní páru. Primárně závisí na teplotě a barometrickém tlaku, avšak tyto vlivy jsou výše zmíněnou normou ČSN EN ISO 13788 [33] zanedbány a je uvažováno s hodnotou $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}]$. Při zanedbání je dán následujícím vztahem:

$$\delta_0 = \frac{(273,15 + \theta_{i,m})^{0,81}}{5,25 \cdot 10^6 \cdot p_a} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}] \quad (56)$$

kde δ_0 *součinitel difuze vodní páry vzduchu [kg·m⁻¹·s⁻¹·Pa⁻¹],*
 $\theta_{i,m}$ *průměrná teplota i-té vrstvy [°C],*
 p_a *atmosférický tlak vzduchu [Pa].*

Hodnota atmosférického tlaku značená p_a , alternativně p_h se dá získat barometrickým měřením. Alternativně lze použít pro její stanovení rovnici danou změnou výšky a závislostí hustoty vzduchu na této výšce podle Boyelova-Mariottova zákona. Výsledný vztah má uvedený tvar:

$$p_a = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot h^* \cdot g^*}{p_0}} \text{ [Pa]} \quad (57)$$

kde p_a *atmosférický tlak vzduchu [Pa],*
 p_0 *atmosférický tlak u hladiny moře o hodnotě 101 325[Pa],*
 e *Eulerovo číslo [-],*
 ρ_0 *hustota vzduchu u hladiny moře [kg·m⁻³],*
 g^* *tíhové zrychlení [m·s⁻²],*
 h^* *výška [m].*

Součinitele difuzí vodních par je možné využít k výpočtu dalších vlastností materiálů, které bude řešit i tato práce. Jedná se o **faktor difuzního odporu** značeného μ . Tento faktor vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru pomocí difuze a je dán následujícími vztahy:

$$\mu = \frac{\delta_0}{\delta_p} = \frac{1}{N \cdot \delta_p} \text{ [-]} \quad (58)$$

kde μ *faktor difuzního odporu [-],*
 N *teplotní difuzní funkce závislá na teplotě a barometrickém tlaku s tabelovanými hodnotami [s⁻¹].*

Z této vlastnosti se dá následně stanovit **ekvivalentní difuzní tloušťka** značená jako s_d , která vyjadřuje difuzní nepropustnost materiálu vyjádřenou v metrech. Tento rozměr odpovídá metrům vzduchu, které by kladly stejný difuzní odpor, jako tloušťka vrstvy konstrukce. Je dána několika rovnicemi:

$$s_d = \mu \cdot d = \frac{\delta_0}{\delta_p} \cdot d = \frac{d}{N \cdot \delta_p} \text{ [m]} \quad (59)$$

kde s_d *ekvivalentní difuzní tloušťka [m],*
 μ *faktor difuzního odporu [-].*

Analogicky s vedením tepla se setkáváme také s **difuzním odporem** materiálu značeným Z_p , alternativně R_d . Tento odpor vyjadřuje schopnost materiálu odolávat pronikání vodní páry. Obdobně jako u tepla se zde používá zjednodušení ve smyslu šíření pouze jedním směrem. Je tedy možné používat vztah o následujícím znění:

$$Z_p = \sum Z_{p,i} = \sum \mu_i \cdot d_i \cdot N = \sum s_{d,i} \cdot N = \sum \frac{d_i}{\delta_p} [m \cdot s^{-1}] \quad (60)$$

kde Z_p difuzní odpor konstrukce [$m \cdot s^{-1}$],
 $Z_{p,i}$ difuzní odpor i -té vrstvy v konstrukci [$m \cdot s^{-1}$],
 $s_{d,i}$ ekvivalentní difuzní tloušťka i -té vrstvy v konstrukci [m].

Jak bylo napsáno, difuzní tok neprobíhá pouze za pomoci rozdílu parciálních tlaků. Je možné jej vyjádřit pomocí změny gradientu koncentrace. Koncentrace této difundované látky, která může procházet ve všech skupenstvích však nezáleží pouze na prostorových souřadnicích tak, jak říká první Fickův zákon a z něj vztahy odvozené, ale také na čase. Přidáváme tedy k prvnímu zákonu (52) také **Druhý Fickův zákon**, který charakterizuje změny koncentrace v čase a je zaváděn pro nestacionární difúzi. Zákon samotný tedy popisuje změnu koncentračního gradientu s časem a současně zohledňuje změnu difuzního toku. Analogicky lze tedy přihlédnout k rovnicím (12) až (16). Při vztažení k celkovému objemu tělesa dostáváme uvedenou rovnici.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (61)$$

kde D difuzní součinitel [$m^2 \cdot s^{-1}$],
 C koncentrace [$mol \cdot m^{-4}$],
 t čas [s],
 x, y, z souřadnice [m].

Díky těmto základním vztahům se tak dostáváme k dalším vztahům, jejichž použití je kritické pro cíle této práce.

B.4.5 Přesný numerický výpočet přenosu vlhkosti a tepla

Z výše uvedených rovnic je jasná analogie mezi tepelným a difuzním tokem. Současně není možné vyloučit pro reálné chování konstrukce vzájemnou interakci a ovlivnění. Výše uvedené metody, zejména poté Glaserova metoda (54) nebere v úvahu například hygroscopické materiály. Postupným vývojem a zkoumáním, které je důkladněji popsáno v disertační práci profesora Hartwiga Künzela [34] se tak dostáváme ke zkratce WUFI (Wärme Und Feuchte Instationär) [35]. Tento model je založen na soustavě dvou diferenciálních rovnic pro nestacionární přenos tepla a vlhkosti, které lze vyjádřit následující dvojicí rovnic:

$$\frac{dH}{d\theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla \theta) + h_s \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\varphi p_{sat})) \quad \frac{dw}{d\varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla (\varphi p_{sat})) \quad (62)$$

kde $dH/d\theta$ akumulace tepla ve vlhkém materiálu [$J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$],
 $dw/d\varphi$ akumulace vlhkosti materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 p_{sat} parciální tlak nasycené vodní páry ve vzduchu [Pa],
 λ součinitel tepelné vodivosti materiálu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],

D_φ	<i>součinitel kapilárního přenosu vlhkosti [kg·m⁻¹·s⁻¹],</i>
\mathcal{D}_p	<i>součinitel difuzní propustnosti materiálu [kg·m⁻¹·s⁻¹·Pa⁻¹],</i>
h_v	<i>měrné skupenské teplo [J·kg⁻¹],</i>
θ	<i>teplota [K, °C],</i>
φ	<i>relativní vlhkost [%].</i>

Popsanými rovnicemi je patrné spojení vlhkosti a teploty v parciálním tlaku vodních par a teplotě, součiniteli tepelné vodivosti a součiniteli difuzní propustnosti, stejně jako skupenského tepla a vlhkosti. Přesto však celkový model nedosahuje reálného chování konstrukce, což však není možné dosáhnout žádným modelem, a to díky kompilacím, idealizacím, nepředpokládanými jevy, nezahrnutelnými aspekty, jež mají vliv na celkové chování apod. Jedná se však o velice přesný model výpočtu, který dosahuje vysoké přesnosti výsledků. Z toho důvodu je pro účely této práce použit.

Je důležité zmínit, že tento software není zdaleka jediným, který dokáže velice přesně spočítat samotná nestacionární šíření tepla a vlhkosti v konstrukci. Můžeme se také setkat například se softwarem DELPHIN [36] nebo COMSOL [37], které se také budou přibližovat reálnému chování konstrukce samotné.

Co je dále důležité zmínit je výše uvedená akumulace, a to jak vlhkostní, tak zejména tepelná, která se dá díky snazšímu výpočtu přesněji vyhodnotit. Jako taková je zejména v čase, jak ostatně dokazují rovnice (62) (63), naprosto nezanedbatelná. Současně s tímto je tedy podstatné pro pochopení chování hmotného pláště a jeho vlivu na vnitřní prostory popsat tepelnou akumulaci.

B.5 Akumulace tepelných zisků

Akumulace tepelných zisků, nebo také tepelná akumulace budovy, jsou pojmy, které popisují chování objektu nebo problémy, které jsou ať již přímo, nebo nepřímo spojené s časově proměnlivým, neustáleným a nestacionárním tepelně-vlhkostním tokem, který působí na konstrukce, místnosti a budovy všeobecně.

Rovnicemi (62) a (63) je možné pochopit, že se jedná o stěžejní problematiku, zejména pokud je jako taková vztažena na časově dlouhé období. Dohromady s následující kapitolou *B.6 Tepelná stabilita interiéru budov, hodnocení a ovlivnění* se jedná jak z krátkodobého, tak zejména z dlouhodobého hlediska o tzv. tepelnou stabilitu neboli schopnosti budovy, místnosti či konstrukce udržet si relativně stálou teplotu. Z historického hlediska [38] se dokonce nejedná ani o nový pojem. Jak bude dále popsáno, problematika však byla soustředěna primárně na zimní měsíce. To se však s nástupem nových technologií a nových požadavků změnilo.

B.5.1 Definice, druhy akumulace a terminologie

Akumulace je, v případě tepelné energie, shromažďování a uschovávání, ať již cílené či nikoliv, tepla dodaného různými zdroji a využití jeho zásoby různými způsoby k ohřevu, vytápění, stabilizace a dalších. Akumulaci je možné rozdělit podle různých aspektů.

Prvním aspektem dělení akumulace tepla je podle média či prvku [39], do kterého je teplo akumulováno. To je možné vyjádřit následujícím výčtem.

- **Akumulace do stavební konstrukce** – akumulace probíhá do celé konstrukce, tedy například stěny, střechy apod.

- **Akumulace do akumulčních prvků** – akumulace probíhá do akumulčního média, nejčastěji vody, nebo jiné kapalné či plynné látky.

Druhým aspektem, který je současně i jeden z nejdůležitějších je čas. Z časového hlediska [40] je tedy možné akumulaci dělit následovně.

- **Krátkodobou akumulaci** – časově probíhá v řádech hodin, nejvýše dní.
- **Dlouhodobou akumulaci** – časově probíhá v řádech týdnů až měsíce.
- **Sezónní akumulaci** – časově probíhá v řádech měsíců až roků.

Pokud se tedy bavíme o konstrukcích, tak v dalším textu této kapitoly bude patrné, že po rozdělení podle hmotnosti, tedy na lehké a těžké, je toto časové hledisko velmi podstatné. Na rozdíl od lehkých konstrukcí je totiž dlouhodobá akumulace daleko problematičtější.

Další dělení je poté podle stavební fyziky materiálů. Podle využívaného fyzikálně chemického procesu můžeme rozdělit tuto akumulaci tepelné energie do několika typů [41], [42], [43].

- **Akumulace citelného tepla** – využití měrného tepla látky. Jedná se o nejjednodušší, nejpřirozenější a historicky nejstarší způsob akumulace. Tato akumulace je mimo jiné zohledněna u stavebních konstrukcí již zmíněnou normou ČSN 73 0540-2 [2]. Vhodné akumulční médium musí mít velkou tepelnou kapacitu a současně jí musí být velké množství. Pro budovy je tento typ typický.
- **Akumulace latentního tepla** – využití entalpie fázové změny látky. Rozeznáváme fázové změny tání/tuhnutí, výpar/kondenzace a sublimace/resublimace. Výhodou oproti akumulaci citelného tepla je konstantní teplota akumulční látky a současně menší požadavek na množství. Díky tomu by tak bylo při jejich použití možné výrazně ovlivnit stav vnitřního prostředí, který bude dále řešen.
- **Absorpce vodní páry** – využití výparné entalpie vody. Tato akumulace využívá změny entalpie vodní páry obsažené ve vzduchu, kdy absorpcí veškeré vlhkosti z odvětrávaného vzduchu při běžné pokojové teplotě a vlhkosti lze získávat energii nazpět, nebo pomocí ní ohřát stejné množství vzduchu.

Vzhledem k problematice této práce se další text, experiment, simulace a samotné zkoumání zaměří primárně na akumulaci do stavebních konstrukcí, respektive hmotného pláště šikmé střechy. Vzhledem k povaze stavební konstrukce bude podrobně zkoumána přirozená akumulace, tedy akumulace citelného tepla. Co se týče časového aspektu, budou zkoumány všechny varianty s cílem popsat chování. Pro další pochopení je nutné definovat terminologii.

Tepelná akumulace popisuje dle výše uvedeného schopnost ukládat nebo uvolňovat tepelnou energii do nebo z konstrukcí, pokud nastává tepelný tok.

Tepelná setrvačnost popisuje rychlost odezvy konstrukce na změnu teplot ve vnitřním nebo vnějším prostředí. Z hlediska tepelné setrvačnosti rozlišujeme dva druhy konstrukcí viz kapitola *B.1 Definice hmotné konstrukce šikmé střechy*.

Tepelná stabilita popisuje stálost teploty interiéru nebo konstrukce při nestacionárních okrajových podmínkách.

B.5.2 Akumulace tepla v konstrukcích

Jedním z nejdůležitějších aspektů akumulace je zmíněná měrná tepelná kapacita, která je dána vztahem (2), který vychází z množství tepelné energie (1) v libovolné látce, nebo konstrukci. V případě samotné akumulace se však můžeme setkávat s odvozenou veličinou.

Objemová tepelná kapacita značená κ vyjadřuje množství tepla, které je nutné k ohřátí 1 m³ materiálu o 1 K při stálém tlaku a stálé, předem definované vlhkosti. Je dána následující rovnicí:

$$\kappa = c \cdot \rho [J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}] \quad (64)$$

kde κ objemová tepelná kapacita [$J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$],
 ρ objemová hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 c měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$].

Pokud tedy vezmeme v potaz tuto veličinu a vztáhneme ji na hmotné materiály v porovnání s materiály lehkými, například železobeton, kde $\kappa = 2,46 MJ \cdot K^{-1} \cdot m^3$ až $2,55 MJ \cdot K^{-1} \cdot m^3$ a naproti tomu například dřevo kde $\kappa = 0,75 MJ \cdot K^{-1} \cdot m^3$ až $1,51 MJ \cdot K^{-1} \cdot m^3$, je patrný jasný rozdíl. Současně je nutné si uvědomit analogii v použití materiálu u šikmých konstrukcích střech. Tato problematika bude dále důkladně rozebrána v rámci různých simulací.

Plošná tepelná kapacita značená autorem této práce c_A je odvozená veličina vyjadřující množství tepla, které je nutné k ohřátí 1 m² materiálu o 1 K při stálém tlaku a stálé, předem definované vlhkosti. Je odvozena následujícím vztahem:

$$c_A = c \cdot \rho_s [J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}] \quad (65)$$

kde c_A plošná tepelná kapacita [$J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$],
 ρ_s plošná hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-2}$].

Tepelná jímavost značená b vyjadřuje schopnost materiálů jímat teplo zejména dotykem dvou materiálů nebo vrstev. Ačkoliv se tato veličina uplatňuje primárně u podlah, je nutné ji zmínit. Jako taková je dána uvedenou rovnicí:

$$b = \lambda \cdot c \cdot \rho [W^2 \cdot s \cdot K^{-2} \cdot m^{-4}] \quad (66)$$

kde b tepelná jímavost [$W^2 \cdot s \cdot K^{-2} \cdot m^4$],
 λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$].

Teplotní útlum konstrukce značený v vyjadřuje schopnost tlumit změny teploty na protilehlých površích konstrukcí, nejčastěji venkovní teploty. Udává kolikrát je menší amplituda teploty vnitřního povrchu oproti amplitudě průběhu teploty venkovního vzduchu. Jako takový závisí na tepelné akumulaci konstrukce. Z obrázku **Obr. 3** je patrný mechanismus, z něhož je patrná také periodicitu amplitudy T . Je dán následujícím vztahem.

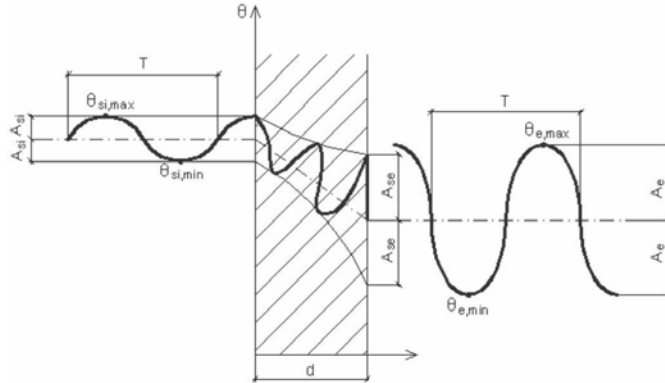
$$v = \frac{A_e}{A_{si}} [-] \quad (67)$$

kde v teplotní útlum [-]
 A_e teplotní amplituda vnějšího vzduchu [K]
 A_{si} teplotní amplituda na vnitřním povrchu konstrukce [K]

Fázový posun teplotního kmitu značený ψ vyjadřuje časový rozdíl mezi dobou maximální teploty na vnitřním povrchu a dobou maximální teploty vnějšího vzduchu. Přesný výpočet je velmi komplikovaný a často odvozený matematicky pomocí Fourierovy transformace. České normy, konkrétně ČSN 73 0540-4 [6], uvádí následující zjednodušený vztah.

$$\psi = 2,7 \cdot \sum(R_i \cdot s_i) = 2,7 \cdot D^* [h] \quad (68)$$

kde ψ fázový posun teplotního kmitu
 R_i tepelný odpor i -té vrstvy konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],
 D^* tepelná setrvačnost konstrukce [h]



Obr. 3 Schéma principu teplotního útlumu a kmitání teploty [44]

Relaxační doba značená τ_0 je parametr či vlastnost popisující tepelně-akumulační vlastnosti konstrukce. Parametr jako takový popisuje teplotní setrvačnost, byť velmi nepřesně, zejména díky předpokladu stacionárního tepelného toku. Základní vztah [45] pro jednovrstvé konstrukce je možné popsat vztahem:

$$\tau_0 = \frac{\rho \cdot c}{2 \cdot \lambda} \cdot d^2 = \frac{d^2}{2 \cdot \alpha} [h] \quad (69)$$

kde τ_0 relaxační doba [h]
 λ součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
 ρ objemová hmotnost materiálu [$kg \cdot m^{-3}$]
 c měrná tepelná kapacita [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
 d tloušťka vrstvy [mm]
 α součinitel teplotní vodivosti [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Pro vícevrstvé konstrukce je poté možné vztah relaxační doby definovat následovně.

$$\tau_0(n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i^2}{2 \cdot \alpha_i} + \frac{\lambda_i \cdot d_i}{2 \cdot \alpha_i} \cdot \sum_{j=i+1}^n \frac{D_j}{\lambda_j} \right) [h] \quad (70)$$

kde $\tau_0(n)$ relaxační doba vícevrstvé konstrukce [h]

Uvedené veličiny v předešlých kapitolách tedy popisují více či méně přesně chování tepelně vlhkostních toků a akumulace konstrukcí. Pro cíle práce je vhodné stanovit normou požadované hodnoty parametrů pro vnitřní prostředí a současně také metody jejich hodnocení.

B.6 Tepelná stabilita interiéru budov, hodnocení a ovlivnění

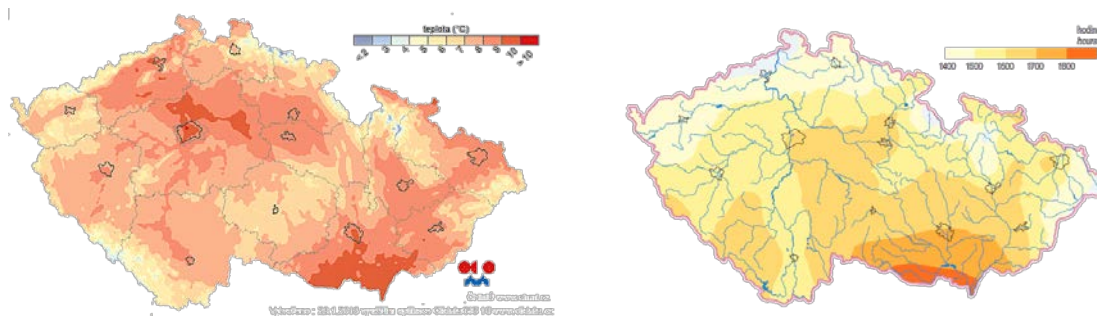
Tepelná stabilita interiéru budov charakterizuje teplotní a s nimi spojené vlhkostní vlastnosti prostoru uvnitř budovy. Jako takovou jí ovlivňují všechny obalové teplosměnné konstrukce a jejich materiál, který odděluje exteriér a interiér, nebo který odděluje daný prostor od zbytku objektu. Hodnocení se rozděluje na zimní a letní stabilitu. Určení tepelné stability vychází z podmínek tzv. tepelného komfortu neboli optimálního stavu, který člověk vnímá při pobytu v daném prostředí a který je dán legislativně přílohou č. 1 k vyhlášce č. 194/2007 Sb. [46], která určuje optimální teplotu a vlhkost v různých místnostech, zákonem č. 258/2000 Sb. [47] a dalšími. I když je optimální stav jako takový velmi často subjektivní a složený z faktorů vnitřního prostředí [48], osobních faktorů a doplňujících faktorů, lze pro jeho dosažení z hlediska vnitřního prostředí vymežit pojmy následující faktory [49].

- **Teplota vzduchu** θ_{ai} [$^{\circ}\text{C}$] – také známá jako suchá teplota, což je teplota v okolí lidského těla. Je neovlivněná radiací okolních ploch.
- **Radiační teplota/teplota kulového teploměru** θ_g [$^{\circ}\text{C}$] – je teplota v okolí těla měřená kulovým teploměrem a zahrnující vliv současného působení teploty vzduchu, okolních ploch a rychlosti proudění vzduchu.
- **Operativní teplota vzduchu** θ_o [$^{\circ}\text{C}$] – je teplota uzavřeného prostoru, uvnitř kterého by sdílené teplo sáláním a prouděním odpovídalo prostředí skutečnému.
- **Střední teplota sálání** θ_r [$^{\circ}\text{C}$] – je rovnoměrná teplota okolních ploch. Sdílí se teplo radiací stejně, jako ve skutečném prostředí.
- **Relativní vlhkost vzduchu** φ_{ai} [%] – vyjadřuje stupeň nasycení vzduchu vodními parami.
- **Teplota mokrého teploměru** θ_{wb} [$^{\circ}\text{C}$] – také nazvaná jako psychrometrická teplota, která vyjadřuje teplotu nuceně větraného a vlhčeného teplotního čidla.
- **Teplota rosného bodu** θ_{dp} [$^{\circ}\text{C}$] – je teplota, při níž je vzduch nasycen a při ochlazování začíná vodní pára kondenzovat.
- **Rychlost proudění vzduchu** v_a [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – je parametr charakterizující pohyb vzduchu v prostoru, který je určen velikostí a vektorem. Je vyjadřována střední hodnotou za časovou jednotku.

B.6.1 Klimatické podmínky České republiky k roku 2020

Česká republika a její klimatické podmínky jsou charakterizovány mírným podnebím s přechodnými oceánskými a kontinentální vlivy. Typické je střídání všech ročních období, časté střídání jednotlivých frontálních systémů a hojné srážky. Velkým vlivem na podnebí je nadmořská výška s rozmanitým reliéfem. Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 5,5 $^{\circ}\text{C}$ až 9 $^{\circ}\text{C}$. [50]

Vzhledem k umístění dále zmíněné experimentální stavby EX_RD_2 a s ní spojeného měření v jihomoravském kraji, který se vyznačuje nejvyšší roční průměrnou teplotou vzduchu 10,1 $^{\circ}\text{C}$, byly zjištěny následující extrémy. Dle dat k roku 2020, tedy i roku kdy probíhalo měření, byl nejchladnějším měsícem dle dostupných dat stanoven leden s teplotou -0,2 $^{\circ}\text{C}$ a nejteplejším měsícem srpen s teplotou 20,3 $^{\circ}\text{C}$. Teploty v rámci jihomoravského kraje tedy dosahují zejména v letních měsících největšího extrému. Experimentální měření samotné bude lokalizováno v obci Pohorelice. Dle následujících obrázků viz **Obr. 4** a **Obr. 45** je možné zjistit, že se jedná o obec, která se nachází v oblasti s jednou z nejvyšších teplot v jihomoravském kraji a současně v oblasti s vysokým počtem hodin slunečního svitu.



Obr. 4, 5 Teplota vzduchu a sluneční svit na území České republiky [50], [51]

B.6.2 Tepelná stabilita místnosti a normové požadavky

Tepelná stabilita je stále častěji skloňovaný pojem, se kterým se můžeme setkat při návrhu téměř každé stavby určené pro pobyt osob. Tepelná stabilita místnosti poté hodnotí a charakterizuje vlastnosti pro určitou místnost pro zimní a letní období, kdy je využita norma ČSN 73 0540-2 [2] na základě neustáleného teplotního stavu.

B.6.2.1 Tepelná stabilita v letním období a normové požadavky

Pro vyhovující stav vnitřního prostředí je hodnotícím kritériem nejvyšší denní teplota vzduchu $\theta_{ai,max}$ v tzv. kritické místnosti a současně nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu místnosti $\Delta\theta_{ai,max}$, které vycházejí z neustáleného tepelného toku. Místnost bývá většinou charakterizována vysokou transparentností přímo osluněných ploch a současně vysokou expozicí na ostře osluněné strany, tedy západ, jihozápad, jih, jihovýchod a východ. Vzhledem k tomu, že se práce bude řešit pouze nevýrobní druh budovy, rodinný dům, je možné hodnoty stanovit dle normy ČSN 73 0540-2 [2] normovými požadavky dle vztahů:

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N}^* \approx \theta_{ai,max} \leq 27,0 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (71)$$

kde $\theta_{ai,max}$ nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období [°C]
 $\theta_{ai,max,N}^*$ požadovaná nejvyšší den. teplota vzduchu místnosti v letním období [°C]

Současně platí, že $\Delta\theta_{ai,max}$ nepřekročí svou hodnotou 5 °C za den. Stanovení kritické místnosti je značně problematické, jak se dozvíme z následujících kapitol. U bytových budov je dle normy možné překročit požadovanou nejvyšší denní teplotu vzduchu o 2 °C na souvislou dobu nejvíce dvou hodin během normového dne za souhlasu investora nebo uživatele.

B.6.2.2 Tepelná stabilita v zimním období a normové požadavky

Obdobně jako u předešlé podkapitoly je pro vyhovující stav vnitřního prostředí v zimním období opětovně hodnocena teplota. Tentokrát se však nejedná o nejvyšší teplotu, ale hlavním hodnotícím kritériem se stává pokles výsledné vnitřní teploty v kritické místnosti $\Delta\theta_{V(t)}$. Tato místnosti má oproti výpočtu letní stability nízkou expozici na osluněné strany. Při stanovení, které opětovně vychází z neustáleného tepelného toku, se sleduje předpoklad výpadku nebo přerušení dodávky energie potřebné k ohřevu místnosti a tím pokrytí jejich ztrát. Požadavek je stanoven pro místnosti s pobytem lidí po přerušení dle normy ČSN 73 0540-2 [2] dle následujícího vztahu:

$$\Delta\theta_{V(t)} \leq \Delta\theta_{V,N(t)} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (72)$$

kde $\Delta\theta_{V(t)}$ nejvyšší pokles teploty místnosti v zimním období [°C]

$\Delta\theta_{V,N(t)}$ požadovaný nejvyšší pokles teploty místnosti v zimním období [$^{\circ}\text{C}$]
 $\Delta\theta_{V(t)} \leq 3 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ při vytápění místnosti radiátory, sálavými panely a teplovzdušně
 $\Delta\theta_{V(t)} \leq 4 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ při vytápění místnosti kamny a podlahovým vytápěním

Obě tepelné stability vypočtené a hodnocené dle výše popsaných postupů a norem však nezohledňují delší časový úsek, než je 24 hodin. Ačkoliv tedy mohou obě hodnocené veličiny vyjít jako dostačující a splňující požadavky normy, jak je možné pochopit z předešlé kapitoly, nemusí tomu díky akumulaci tepla, které se u hmotných materiálů hromadí déle, být.

B.6.2.3 Požadovaná výměna vzduchu

Tepelná pohoda je ovlivněna v zimním i letním období rychlostí proudění vzduchu. Toto proudění nastává přirozenou, nebo nucenou výměnou vzduchu. Toto větrání obytných budov, které je legislativně dáno normou ČSN EN 12 831 [52] může být jak přínosem, tak i negativem ve smyslu změny teploty vnitřního prostředí. Výměna vzduchu v místnosti značená $V_{min,i}$ je dána následující rovnicí.

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (73)$$

kde $V_{min,i}$ požadovaný objem výměny vzduchu [$m^3 \cdot h^{-1}$]
 V_i objem místnosti nebo větraného prostoru [m^3]
 n_{min} minimální požadovaná výměna vzduchu místnosti za hodinu [h^{-1}]

Výsledné hodnoty stanovené dle vzorce dokážou určit minimální požadavky na výměnu vzduchu stanovenou hygienou. Avšak jako takové nejsou vždy odpovídající. Proto se setkáváme a aktivně využíváme další normy či nařízení [53], jako je ČSN EN 521+AC [54], ČSN EN 15665 [55], Nařízení vlády č. 523/2002 Sb. [56] a v pozdějším znění č. 361/2007 Sb. [57]

B.6.3 Metody výpočtu tepelné stability

Tepelná stabilita je posuzována normou ČSN 73 0540-2 [2], kdy výpočet a hodnocení předpokládá dosažení tzv. kvazistacionárního teplotního stavu, který je charakterizován dlouhodobě se neopakujícími nestacionárními denními okrajovými podmínkami. Z hlediska nejběžnějšího způsobu výpočtu stability samotné se lze setkat s několika způsoby, včetně výše zmíněného výpočtu tzv. kritické místnosti. Konkrétně se jedná o následující metody.

- **Metoda vybrané (kritické) místnosti** – posuzuje se samostatně pouze kritická místnost na normou stanovené datum a maximální teplotu, kdy jsou okrajové podmínky uvažovány jako normová záležitost.
- **Metoda všech místností** – posuzují se všechny místnosti na normou stanovené datum a maximální teplotu, kdy jsou opět okrajové podmínky uvažovány jako normová záležitost.

Metody však spojuje několik nevýhod. Mezi ně patří například značná nepřesnost výsledků způsobená absencí možnosti vzájemného ovlivnění místností mezi sebou, zohledněním jasně daných normových okrajových podmínek a také absencí předchozí tepelné akumulace, která se zejména u hmotných konstrukcí vyznačujících se vysokou tepelnou setrvačností stává problematickou. Problémem je také výběr kritické místnosti, která se při hodnocení v čase mezi letním a zimním obdobím mění. Možností, jak tyto nedostatky eliminovat je dynamická metoda, která je dále charakterizována.

- **Dynamická metoda** – posuzují se všechny místnosti po vybraný časový úsek (den/týden/měsíc/rok), kdy se sleduje průběh teplot, intenzita větrání a další. Na rozdíl od předchozích metod jsou interiérové a exteriérové okrajové podmínky nestacionární a získané měření. Zohledňuje se oproti klasickým metodám komplexní 3D geometrie včetně všech podstatných prvků objektu. Největší výhodou oproti předešlým metodám je také zohlednění vzájemného ovlivnění jednotlivých místností mezi sebou, což vede k přesnějším výsledkům, které se při správném nastavení okrajových podmínek blíží skutečnému chování.

B.6.4 Faktory ovlivňující tepelnou stabilitu

Dynamická metoda nám umožňuje daleko přesněji posoudit objektivní faktory popisující vnitřní prostředí, mezi které nejčastěji patří: teplota vzduchu θ_{ai} , střední radiační teplota θ_r , nahrazující teplotu okolních povrchů θ_{si} , rychlost proudění vzduchu v_a a relativní vlhkost vzduchu φ . Tyto veličiny ovlivňuje řada faktorů, mezi něž patří jak okrajové podmínky, tak i další aspekty. Konkrétně se jedná o následující výčet.

- Tepelně technických vlastnostech teplosměnných konstrukcí.
- Tepelně akumulačních vlastnostech materiálů použitých v celém objektu.
- Koncepti výměny vzduchu v interiéru.
- Tepelných ziscích přes průsvitné a neprůsvitné části obálky budovy.
- Stínění průsvitných a neprůsvitných částí obálky budovy.
- Koncepti vnitřního provozu a tepelných zisků od osob, zařízení a spotřebičů.

Tepelná stabilita je velmi rozsáhlý problém postihující celou škálu aspektů. Existuje celá řada způsobů pro dosažení optimálního řešení. Z výčtu faktorů a předešlých vztahů vyplývá několik skutečností. Nejvýhodnější je, aniž bychom byli nuceni investovat značné finance do nuceného větrání, zmenšení podílu prosklených ploch vůči plochám podlahovým, což je však často v rozporu s požadavky investora. Další možností je stínění jak průsvitných, tak neprůsvitných částí obálky budovy. Toto stínění je však opětovně problematické a vyžaduje vynaložení dalších financí, odklonění se od architektonické vize, nebo vede k nutnosti mít tuto clonící technologii aktivovanou po celou dobu užívání místnosti, zejména poté v letních měsících.

Nejvýhodnějším způsobem, aniž bychom zásadně měnili koncepci provozu či větrání, je vylepšení neprůsvitné konstrukce a změna jejich tepelně technických a tepelně akumulačních vlastností. U pasivní výstavby se tak skutečně děje, zejména u obvodových nosných stěn, kdy je v hojně míře používáno například vápenopískového zdiva, které je subtilní a disponuje vysokou měrnou tepelnou kapacitou. Je tedy snaha takto vylepšovat i jiné konstrukce, než jsou stěny.

Problém nastává na, z tohoto hlediska, často opomíjené a nejvíce exponované konstrukci, která má téměř po celou denní dobu přísun solárních zisků a je bez možnosti krytí, nebo jiného stínění, a sice střeše. Kde plochou střechu můžeme vhodným způsobem stínit, například pomocí zatravnění nebo pomocí stabilizačního násypu, šikmé střechy takto chránit nelze, nebo pouze do určitého sklonu. Pokud tento fakt spojíme s využitím podkroví, což je trendem současného stavitelství, a také použitím hmotných materiálů, jak tomu je často u pasivních objektů, vystávají nové a často neřešené skutečnosti, které mají významný vliv na samotnou tepelnou stabilitu nejen jednotlivých místností, ale díky markantnosti konstrukce celého objektu.

B.7 Sestavení hypotéz

Při zanedbání fyzikální funkcionality a tepelně akumulčních vlastností hmotného materiálu se vytváří shrnutím uvedených faktů a vztahů potenciálně velmi těžko kontrolovatelný, teplo shromažďující a vydávající mechanismus. U stěn, které lze takto charakterizovat, to vzhledem k relativně omezené době expozice vlivem natočení vůči světovým stranám, zbarvení, možnosti stínění a celkově nižší ploše nemusí tvořit výrazný problém. To neplatí pro šikmé střechy trvale vystavené tepelné zátěži ve formě solárních zisků a dalších povětrnostních vlivů.

Střechy jsou všeobecně viz kapitoly *B.1 Definice hmotné konstrukce šikmé střechy* a *B.2 Konstrukční systémy hmotných šikmých střešních pláštů* nejvíce exponovanou konstrukcí. V našem případě a pro účely práce byla zvolena právě konstrukce šikmé střechy, kterou je možné charakterizovat jako těžkou. Pokud k tomu připočteme závěry a mechanismy akumulace kapitoly *B.5 Akumulace tepelných zisků* s přihlédnutím na rovnice (64), (65), (68) a (69), dostáváme zakomponováním velmi hmotného materiálu do střechy akumulátor citelného tepla, který při kontinuálních solárních ziscích nemá možnost vydat nahromaděné teplo během nočních hodin, jak ostatně dokazuje například tento článek zaměřený na fázový posun teplotního kmitu [58] [59].

Ze článků a předcházejících kapitol vyplývá, že pokud dojde k opomenutí faktů o jiné funkcionalitě takto použitého materiálu a potenciačního vzniku nechtěného akumulátoru, je nutné vynaložit značných energií pro kompenzaci nově vytvořené tepelné zátěže, která má potenciál se přes léto stát problematickou nejen ve své vyšší intenzitě, ale v souladu s rovnicemi (68) a (69) v době, kdy vydává teplo. Tento nárůst teploty a doby po kterou teplo působí vede k řadě otázek spojených také s působením vlhkosti v samotném materiálu, jak popisuje kapitola *B.4 Šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích*. Mechanismus je dále umocněn nutností vytvářet skladbu, která je v souladu s klimatickými podmínkami České republiky a legislativními a normativními požadavky. Je tedy nutné zjistit potenciální rizika akumulace.

Nutností je zmínit jasné výhody, které z akumulace plynou. Pokud je dokážeme efektivně zohlednit, může nám střecha z hmotného materiálu pozitivně posloužit k hromadění citelného tepla ze solárního záření a vytápění objektu v zimních a takzvaných přechodných měsících, kdy je objekt ochlazován díky exteriérové teplotě. Otázkou je chování hmotného pláště šikmé střechy z hlediska vlhkostního toku, kdy lze očekávat mírné odlišnosti od standardních materiálů používaných na šikmé konstrukce. Současně se zde nabízí otázka, zda je vůbec nutné do takové střechy, kde jsou zabudovány materiály odolné vůči vlhkosti, zabudovávat parotěsnicí vrstvu. Je tedy vysoce pravděpodobné, že hmotné pláště šikmých střeš mají jak jasná pozitiva, tak také negativa. Popsanou problematikou současného stavu jsou sestaveny tři hypotézy.

1. Hmotné pláště šikmých střeš z materiálů s vysokou měrnou tepelnou kapacitou vyvozují možné negativní a pozitivní vlivy na vnitřní prostředí budov. Tyto vlivy nejsou na území více České republiky popsány. Vlivy se týkají tepelného toku, vlhkostního toku a vlivu na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí.
2. Využitelnost a míra akumulace tepelných zisků je závislá na celé řadě faktorů, z nichž je u střeš nejpodstatnější solární zisk. Tento zisk je, kromě umístění objektu, primárně ovlivněn orientací teplosměnných ploch vůči světovým stranám.
3. Mechanismus a akumulace tepelných zisků, které se odráží na tepelné stabilitě místnosti, jsou přímo ovlivněny koncepcí větrání jak interiéru, tak i zhotovené větrané vzduchové vrstvy skladby, stejně jako cloněním teplosměnných konstrukcí. Kromě koncepce větrání skladby jsou však další způsoby ovlivnění závislé primárně na uživatelských samotných a nelze s nimi tedy plně počítat. Vystává tedy otázka úpravy skladby samotné a vhodná kombinace materiálů a vrstev.

C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

- ❖ C.1 Vytyčení cílů
- ❖ C.2 Zdůvodnění volby
- ❖ C.3 Způsob dosažení výsledků

C.1 Vytyčení cílů

Shrnutými poznatky, fyzikálními vztahy a zejména hypotézami je možné stanovit následující cíle a otázky, na které disertační práce odpovídá. Jedná se o konkrétní cíle, jimiž je odpověď na následující:

1. **Zjistit chování hmotné konstrukce šikmé střechy z hlediska teploty, tepelného toku, difuzního toku, fázového posunu teplotního kmitu, akumulace a rychlosti odezvy konstrukce v kritických a přechodových měsících.**
2. **Zhodnotit míru vlivu objemové hmotnosti skladby šikmého střešního pláště, která je ovlivněná volbou materiálu a s ní spojenou měrnou a objemovou tepelnou kapacitou, na tepelnou stabilitu podstřešních prostor budov při stejných okrajových podmínkách.**
3. **Zhodnotit vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy vůči světovým stranám z hlediska chování a nároků na vnitřní prostředí.**
4. **Určit nejvhodnější způsoby ovlivnění tepelné stability experimentálního objektu s hmotným pláštěm šikmé střechy, za pomoci úpravy této zkoumané skladby.**

C.2 Zdůvodnění volby a způsob dosažení výsledků

Kapitola slouží ke zdůvodnění volby cílů předložené disertační práce, které byly vytvořeny na základě hypotéz předcházející kapitoly.

C.2.1 Zjistit chování hmotné konstrukce šikmé střechy z hlediska teploty, tepelného toku, difuzního toku, fázového posunu teplotního kmitu, akumulace a rychlosti odezvy konstrukce v kritických a přechodových měsících.

Pochopení komplexního tepelně-vlhkostního chování hmotné konstrukce šikmé střechy v rozsáhlém časovém období je důležité a kritické jak pro tento cíl samotný, tak také další cíle disertační práce. Jako takové však není v klimatických podmínkách České republiky dosud řešeno.

Vzhledem ke složitosti simulace, která by bez skutečných vstupních okrajových podmínek s velmi vysokou pravděpodobností s ohledem na idealizace zcela zásadně divergovala od skutečnosti, je nutné realizovat rozsáhlé experimentální měření na reálném a užívaném objektu. Aby bylo možno se objektivně vyjádřit ke konstrukčnímu řešení a jeho chování jako celku, jeho výhodám a nevýhodám, je nutné co nejrozsáhlejší pochopení. Z toho důvodu je potřebné zjistit o skladbě samotné veškeré možné fyzikální pochody, kdy mezi nejhlavnější patří teploty, tepelný tok a jeho hustota, difúzní tok a také, jak je patrné z předchozích kapitol, fázový posun teplotního kmitu a rychlost odezvy konstrukce samotné.

C.2.2 Zhodnotit míru vlivu objemové hmotnosti skladby šikmého střešního pláště, která je ovlivněná volbou materiálu a s ní spojenou měrnou a objemovou tepelnou kapacitou, na tepelnou stabilitu podstřešních prostor budov při stejných okrajových podmínkách.

V aktuálně dostupných materiálech, odborných textech a článcích není jednoznačně vyřčen význam hmotnosti pláště šikmé střechy na tepelnou stabilitu podstřešních prostor obytných budov nebo objektu samotného. Současně není přesně řešen jeho vliv. Aby bylo možno

najít odpověď, je nutné rozšířit aktuální úroveň poznání. V ideálním případě by bylo nutné zhotovit různé varianty pláště, které disponují jiným nosným materiálem. To by obnášelo několik experimentálních objektů, které budou až na střešní plášť naprosto identické, budou identicky využívány a budou mít stejnou koncepci vnitřního provozu, vytápění, větrání apod.

Jelikož je takto rozsáhlý experiment nemožné realizovat, budou využita data a závěry cíle C.2.1 s úkolem sestavit simulační modely pro různé materiálové varianty využívající poznatky popsané v kapitole *B. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY*. Účelem budou rozsáhlé simulace těchto různých materiálových variant a z nich plynoucí hlubší pochopení vlivu objemové hmotnosti. Výsledkem bude srovnání různých materiálových možností. Aby bylo možné podložit přesnost simulace a přibližně říct odchylku od skutečnosti, je nutné realizovat měření vnitřních parametrů z hlediska jejich vlhkosti a teploty, tedy využít závěry bodu C.2.1.

C.2.3 Zhodnotit vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy vůči světovým stranám z hlediska chování a nároků na vnitřní prostředí.

Natočení objektu vůči světovým stranám je podrobně zkoumané a známé téma. Vliv orientace se odráží jak v solárních ziscích, tak i jiných aspektech, které mají markantní až dominantní dopad na výsledný stav vnitřního prostředí v podobě tepelné stability. Hmotné pláště v tomto případě nejsou žádnou výjimkou. Jak je možné zjistit z doposud shromážděných informací a podkladů, jejich přirozená akumulace a výsledné chování je ve spojení s touto problematikou otázkou, na kterou není v současné době jednoznačná odpověď.

Je pravděpodobné, že vzhledem k potenciálu konstrukce ohledně akumulace je možné natočení optimalizovat tak, aby byl maximalizován užitek ze zisků a z něj plynoucí snížení ztrát, stabilizace vnitřního prostředí atd. Současně lze orientaci uzpůsobit tak, aby nedocházelo k potenciálnímu nechtěnému růstu teplot v nevhodná období. Za účelem poznání významu orientace na hmotné skladby šikmých střech bude realizována sada simulací vycházejících ze skutečného stavu, kde bude měněna orientace celého modelu vůči světovým stranám. V rámci simulací bude za stejných okrajových podmínek sledováno chování vnitřního prostředí, stejně jako energetické nároky, které orientace vyvozuje.

C.2.4 4. Určit nejvhodnější způsoby ovlivnění tepelné stability experimentálního objektu s hmotným pláštěm šikmé střechy, za pomoci úpravy této zkoumané skladby

Jelikož jsou hmotné skladby zakomponované do šikmých střech na území České republiky všeobecně relativně neprobádaným tématem, je žádoucí pochopit nejen jejich vliv na tepelnou stabilitu, ale také možnosti dalšího stabilizování podstřešních prostorů, které jsou hmotnými pláštěmi zakončené. Ovlivnění vnitřního prostředí pomocí stavebních úprav objektu nebo změny koncepce větrání či užívání je dalším velmi zkoumaným a současně žádaným tématem. Změna koncepce je značný problém záviselý na uživateli. Je tedy žádoucí vynechat lidský faktor a zaměřit se na vylepšení stávající skladby.

Na reálném stavu střešní konstrukce experimentálního objektu budou za pomoci reálných dat a ověřené simulace, které jsou výsledkem cíle C.2.1, prozkoumány možnosti snížení teploty za pomoci různých úprav skladby zkoumaného hmotného pláště viz bod C.2.1. Bude opětovně realizována sada simulací, u kterých budou sledovány dílčí a přínosné parametry, které budou následně vhodně komparovány s výchozím stavem konstrukce.

C.3 Způsob dosažení výsledků, použité postupy a podklady

Vzhledem k definovaným dílčím cílům je nutná komplexní analýza jako podkladu pro dosažení cílů. Té bude získáno předběžnou simulací, experimentálním sběrem dat, komplexní podrobnou simulací, analýzou a následně samotným vyhodnocením.

Pro sběr a validaci tepelně-vlhkostních a akumulčních vlastností těžkých pláštěů šikmých střech bylo užito přístrojového a softwarového vybavení Ústavu pozemního stavitelství (dále jen ÚPST) na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně (dále jen FAST VUT). Současně byly využity soukromé prostory experimentálních objektů rodinných domů, stejně jako osobního přístrojového a softwarového vlastnictví autora. Pro přesnější pochopení bylo užito dat Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ), respektive dat stanic ve správě. Data byla zakoupena ze specifického výzkumu autora předložené práce s označením FAST-J-20-6275.

C.3.1 Přístrojové vybavení pro experimentální měření

V rámci podrobné analýzy a sběru dat z měření samotné skladby bylo využito přístrojového vybavení ve vlastnictví ÚPST Fakulty stavební v Brně a soukromého vybavení autora práce. Měření a jeho výsledky jsou použity pro vyhodnocení a simulace v příslušných softwarech. Konkrétně se jedná o následující vybavu.

- Měřicí ústředna AHLBORN Almemo 2890-9, 9ti-vstupý datalogger/ústředna pro zaznamenávání a ukládání dat.
- Datové rozšíření AHLBORN Almemo ZA1904SD pro datalogger.
- Měřicí datalogger/ústředny COMET S3121 pro zaznamenávání a ukládání dat s teploměrem + vlhkoměrem a externí sondou (osobní vlastnictví).
- Měřicí termočlánky AHLBORN.
- Čidlo pro měření hustoty tepelného toku AHLBORN.
- Čidlo pro měření teploty a vlhkosti AHLBORN.
- Čidla Sensirion SHT31 SG s čidlem pro měření teploty a vlhkosti s možností datového záznamu (osobní vlastnictví).
- Laserový dálkoměr Leica (osobní vlastnictví).
- Mobilní fotoaparát (osobní vlastnictví).

Cílem přístrojového vybavení je měření parametrů prostředí experimentálních objektů a současně také následný sběr dat ohledně teplot, vlhkosti a hustoty tepelného toku, které jsou nezbytné pro dosažení dílčích cílů. Nejsou uvedeny přístroje, kterých bylo použito pro montáž čidel. Veškerá čidla byla před svým zabudováním odzkoušena a kalibrována.

C.3.2 Softwarové vybavení pro experimentální měření a simulaci

Softwarové vybavení je možné z hlediska jeho využití rozdělit do dvou samostatných kategorií, a sice software pro vytváření a modelaci objektu, software pro editaci textu a dat, software pro obsluhu čidel, sběr a práci s daty a následně na software sloužící pro dynamické simulace pro transport tepla, vlhkosti a energie. Jedná se tedy o následující výčet.

- COMET Vision Software 2.2.7863.25257 – Program pro obsluhu dataloggerů, stahování dat a další (osobní vlastnictví).

- AHLBORN Almemo Control 6.2.0.X – Program pro obsluhu dataloggerů, stahování dat a další (osobní vlastnictví).
- MS Office 365 (osobní vlastnictví).
- ArchiCAD 22–23 (osobní vlastnictví).
- AutoCAD 2021 EDU (osobní vlastnictví).
- WUFI® PRO 6.5.2 EDU (osobní vlastnictví).
- DesignBuilder Software v 5.0.3.007 – nástavba Simulace (vlastnictví VUT FAST).
- DesignBuilder Software v 6.1.8.021 – nástavba Simulace (osobní vlastnictví).

C.3.3 Experimentální objekty

Jednotlivé cíle jsou, zejména poté průběh teplot a vlhkostí, velmi komplikované na simulování. Pokud bychom se rozhodli pro simulaci, podléhala by velmi markantním a rozsáhlým idealizacím vedoucím ke zkreslení kritických informací. Je tedy nutné zajistit komplexní experimentální sběr dat. Za tímto účelem byly zvoleny dva experimentální objekty rodinných domů v okrese Brno-venkov, které svými parametry odpovídají řešenému tématu.

Prvním objektem je stavba s kódovým označením EX_RD_1 nacházející se v obci Kuřim a je vytvořena z konstrukčního stěnového systému vyžděného z pórobetonových tvárníc. Stavba je charakterizována jako rodinný dům zakončený nad polovinou svého půdorysu šikmou střechou o skladbě hmotného charakteru. Objekt slouží v rámci práce k počátečnímu ověření hypotézy a základní simulaci. Simulace na něm provedené jsou vytvořené čistě pomocí simulace softwaru DesignBuilder Software 5.0.3.007.

Druhým objektem je stavba s kódovým označením EX_RD_2, která se nachází v obci Pohořelice. Obdobně jako objekt EX_RD_1 je i tato stavba vytvořena z pórobetonového konstrukčního systému. Jako taková je nad celým svým půdorysem zakončena šikmou střechou o skladbě hmotného charakteru. Objekt byl využit pro zabudování experimentální měřicí soustavy a také k pokročilým simulacím. Je v soukromém vlastnictví a měřicí zařízení do něj bylo postupně zabudováno již při samotné výstavbě. Měřicí soustava byla následně rozšířena za financování specifického výzkumu autora předložené práce s označením FAST-J-20-6275 s názvem Analýza hmotných konstrukcí šikmých střech a jejich vliv na stav vnitřního prostředí. Objekt je dlouhodobě monitorován a je předpokládáno opětovné budoucí rozšíření měřicí aparatury.

C.3.4 Hydrometeorologická data

Vzhledem k zaměření cílů práce, tedy popisu chování tepelné stability vnitřního prostředí v návaznosti na hmotný materiál šikmé střešní konstrukce, je nutné, kromě zkoumání vnitřního prostředí, podrobně a dlouhodobě monitorovat také stav vnějšího prostředí v předmětné lokalitě. Za tímto účelem bylo u obou experimentálních objektů využito externích zdrojů, které nám poskytují vstupní data a definují okrajové podmínky v jednotlivých softwarech.

Objekt EX_RD_1 je vzhledem ke svému účelu, tedy primárně ověření hypotézy a základní simulaci, podložen exteriérovými okrajovými podmínkami vycházejících z dat monitorovacího systému ASHRAE/TWEC [60] pro Brno – Tuřany z roku 2018. Interiérové okrajové podmínky vycházejí z normových hodnot odpovídajícím objektům rodinných domů.

Objekt EX_RD_2 je díky své důležitosti a důrazu na přesnost měření a simulací z něj vycházející podložen daty Českého hydrometeorologického úřadu, konkrétně stanice B2POHO01 Pohořelice nacházející se cca 1,7 km od samotného objektu. Interiérové okrajové podmínky jsou následně monitorovány samotnou měřicí soustavou. Očekává se velmi vysoká přesnost výsledků s minimálním zkreslením.

D. METODIKA ZPRACOVÁNÍ

- ❖ **D.1** Teoretická analýza problematiky
- ❖ **D.2** Metodika experimentálního sběru dat
- ❖ **D.3** Metodika sestavení simulace

D.1 Teoretická analýza problematiky

Hmotné materiály zabudovávané do střech nejsou historicky žádnou novinkou a je možné je nalézt zejména v jižních, často přímořských, státech vyznačujících se vysokou celoroční teplotou exteriéru. Hmotné pláště střech zde slouží jak pro stabilizaci vnitřního prostředí, tak pro jiné účely, mezi které patří například ochrana proti zvýšené seismické aktivitě či proti jiným přírodním katastrofám, jak je možné zjistit z různých zdrojů [61], [62], [63]. Velké oblíbenosti se tyto systémy těší také v jižních státech USA, které je možné opět charakterizovat relativně vysokými teplotami vzduchu. Co se týče jejich vlastností, je nutné se zaměřit nejen na dílčí materiály, ale také na koncepci užívání hmotného materiálu ve střechách jako celku.

D.1.1 Aktuálnost problematiky na území České republiky a ve světě

Česká republika (dále jen ČR) a země po celém světě se snaží o snížení energetické náročnosti budov nejrůznějšími způsoby, a to od nákladnějších řešení až po velmi jednoduché za pomoci nejrůznějších úkonů a směrů výzkumů od stínění [64], zelených střech a zelených fasád [65], [66], pasivní chlazení a pasivní stabilizace vnitřního prostředí [67], [68], přirozeného větrání [69], [70], ale také samotných materiálů, kde převažuje používání zejména tzv. „Phase Change Materials“ (dále jen PCM) [71], [72], [73], [74], [75], kde se využívá změna skupenství k ukládání energie. Výčet samozřejmě neobsahuje všechny směry a mohli bychom jmenovat další a zabřednout v problematice do rekuperačních systémů, tepelných čerpadel a mnoho dalšího.

Práce a články, které pracují s PCM a zabývají se jejich výzkumem a použitím se naší problematice řešené v této práci přibližují tematicky nejvíce a řeší stejné problémy, pouze v jiném měřítku času. Divergencí v přístupu k problematice je optimalizace materiálu samotného a jeho naprosto jedinečného vlivu, který přináší. Stejně tak nastává odklon v prozatím specifickém a relativně málo rozšířeném zabudovávání těchto materiálů na území ČR. Přesto je však možné informace a poznatky v relativně vysoké míře možné interpretovat.

Přínosné jsou také publikace zabývající se paradoxně, zelenými střechami [76], [77], kdy je teplo zastaveno a částečně akumulováno ve vrstvě zeminy na hranici exteriéru. Shrnutím je patrné, že výzkum ze své podstaty, tedy akumulace tepla před vstupem do skladby [78], [79], diverguje od směru bádání této disertace. Je nutné podotknout, že povědomí o používání hmotných materiálů s vysokou objemovou kapacitou jakožto akumulátoru tepla existuje [80], avšak na území ČR se mu zatím nepřikládá taková důležitost.

Nejpřínosnější je pro účely předložené práce výzkum ve čtyřech oblastech souvisejícími právě s využitím hmotnosti a měrné tepelné kapacity, z něhož dva se týkají primárně právě střech. Zbylé dva jsou ve svém vědeckovýzkumném bádání velmi specifické.

Prvním směrem výzkumu, ze kterého práce přímo čerpá poznatky, informace a některé postupy, se zaměřuje na zmíněné použití extenzivního a intenzivního zatravnění plochých střech [81], [82], alternativně zelených či vegetačních střech, kdy je cílem právě co nejvyšší akumulace tepla ještě před vstupem do samotné skladby [80] nebo do tepelného izolantu viz **Obr. 6**. To vede v korespondenci s většinou obecné fyzikální problematiky ke stabilizaci teploty vnitřního prostředí. Kombinací vegetace, stínění rostlin, tepelnou akumulací zeminy či kameniva je velmi výhodně většina tepla dočasně zastavena hned u hranice exteriéru. Současně je problém s rostoucí hmotností skladby a také neopomenutelným rizikem poškození hydroizolace. Ve směru výzkumu je nevýhodou a odchýlením od cílů této práce vytvoření vrstvy materiálu, většinou zeminy či kameniva. Ta v sobě zadržuje vlhkost, často dlouhodobě, a ovlivňuje tak svým fungováním, i s přihlédnutím k její poloze nad hlavní hydroizolační vrstvou či parozábranou, případný tepelně-vlhkostní tok. Zároveň jsou vlastnosti ovlivněny celou řadou aspektů, které nesouvisí pouze se

skladbou samotnou, ale výsadbou vegetace, jejím ošetřováním a udržováním. Nutností je vyzvednout hlavní rozdíl, na který narazíme v dalších odstavcích, a sice prostup tepla celou skladbou. U použití zelených střech akumulujeme teplo dodávané do skladby z exteriéru přímo na povrchu skladby na straně vnější, čímž je zabráněno prostupu tepla skrze skladbu, tedy hydroizolace, tepelné izolanty a nosný systém. Jedná se tak o opačný efekt, který zastaví teplo a riziko s ním spojené ještě před samotným jeho vstupem a následným uzavřením či akumulováním do skladby. Je tedy možné použít dílčí závěry, avšak jedná se o zcela rozdílný směr výzkumu, který přináší svá úskalí a otázky, na které je nutné hledat odpovědi.



Obr. 6 Zhotovení zelených střech na šikmých střešních rovinách [83]

Dalším směrem je méně známý, a převážně pouze zahraniční, výzkum zaměřený na takzvané modré střechy, anglicky známější jako „Blue Roofs“ [84], [85]. Tyto střechy jsou na rozdíl od střech zelených dočasně zaplaveny vodou, čímž velmi drasticky zpomalují odtok. Doba zaplavení se může různit dle potřeb uživatelů. Jedná se tedy dle kapitoly *B.6 Tepelná stabilita interiéru budov, hodnocení a ovlivnění* o jeden z nejlepších a neoptimálnějších akumulačních prvků. Ascione [85] se ve svém článku zaměřil právě na tuto možnost zatopení střechy vodou, což se v korespondenci s tematikou probranou v kapitole *B.5 Akumulace tepelných zisků* jeví jako nejlepší možnost, zejména s přihlédnutím na vodu a akumulační schopnosti, kterými disponuje. Také je tímto stavebním řešením zodpovězena otázka, co se zachycenými dešťovými vodami.

Co se týče nevýhody, vytváří tento přístup hned několik problému, jež je nutno řešit nebo s nimi v plné míře uvažovat. Prvním je vytvoření souvislé difuzně uzavřené vrstvy vodní hladiny bránící proudění plynů a vodních par. Současně se vytváří hydrostatický tlak měnící tepelně-vlhkostní tok.

Použitím hrozí relativně vysoké riziko zatečení při mechanickém poškození pláště, nebo při špatném provedení hydroizolace. Nezanedbatelné je riziko poškození vlivem velmi nízkých teplot. Setkáváme se také s výhodnou kombinací zeleného střešního pláště, který při svém spodním líci před hydroizolací disponuje vodním rezervoárem viz **Obr. 7**. Bohužel, obdobně jako u vegetačních střech, se jedná o opačný efekt, který může v závislosti na výšce hladiny vody různým způsobem ovlivňovat výslednou skladbu střechy. Současně je použití těchto pláštů typické u plochých střech, spíše než, zcela logicky, u střech šikmých. Opětovně se tedy jedná o zcela odlišný směr výzkumu, ze kterého však můžeme čerpat poznatky například ohledně akumulace tepla.



Obr. 7 Zhotovení modrých střech [86]

PCM materiály, jak bylo zmíněno [73], [74], [75], jsou také velmi rozšířeným tématem, ze kterého tato práce čerpá poznatky, zejména ohledně akumulace tepla a práce s touto energií. Materiál samotný netvoří nosnou konstrukci a slouží jako doplněk ke stávající skladbě na rozhraní interiéru s teplosměnnou skladbou, kde tlumí teplotní amplitudy v letních obdobích, nebo měsících s vysokými teplotami exteriéru, avšak současně posouvá tepelným útlumem a fázovým posunem teplotních kmitů odvod tepla do nočních hodin, což je potenciálně nežádoucí efekt. Fungují, jak název napovídá, na chemické změně svého složení při překročení určité hodnoty stupňů Celsia, což vede k masivnímu nárůstu akumulačních vlastností až o několiknásobek [87], čímž de facto přebírají funkci hmotného materiálu. Oproti zde zkoumaným konstrukcím, které nepodléhají žádné chemické změně, se tedy jedná o značný odklon v tématu. PCM s velmi vysokou pravděpodobností při svém opakovaném použití vedou k parciální ztrátě svých výhodných vlastností, což je opět značná divergence od hmotných materiálů, které disponují po téměř celou dobu své životnosti stejnými vlastnostmi. Posuzování PCM softwarem je relativně náročné. Hmotné materiály jsou oproti PCM díky laboratorně opakovaně zjištěným a exaktním hodnotám [88] snadno uchopitelné v rámci libovolného softwaru a lze s nimi snadno pracovat.

Oproti tématu této práce je specifické také zabudování PCM, kdy své největší uplatnění nachází v budovách s nízkou akumulační kapacitou, kterou PCM přináší, a rychlou změnou teploty interiéru vyvolanou buď strojním chlazením nebo vysokým procentem prosklení teplosměnných konstrukcí [89], [90] v závislosti na posuzovaném ročním období. Jedná se tedy o značný odklon od hmotných materiálů, které jsou nosnou konstrukcí a masivním akumulátorem jakékoliv dodané energie, avšak bez změny jejich vlastností v čase vlivem okrajových podmínek.

Posledním markantním směrem [91], [92], [93], [94], [95] je relativně rozšířené téma zabývající se zkoumáním tepelně technických a akumulačních vlastností historických a převážně sakrálních staveb viz **Obr. 8**. Díky starým stavebním zákonům a absenci pokročilé stavební mechaniky tyto stavby disponují masivními konstrukcemi zejména stěn, stropů v podobě kleneb a v některých případech také střech. Zde už se principiálně velmi přibližujeme cílům, které jsou v této práci vytyčeny a také k metodologii získávání dat, která je obdobně jako v této práci, dosažena primárně experimentálním měřením. Nelze opomenout velmi užitečné poznatky a metody, kterými lze velké datové celky a průběhy nejen teplot, ale také vlhkosti řešit.

Ve výše zmíněných člancích, které se zabývají problematikou historických staveb, však narážíme na zásadní nedostatky. Ačkoliv se jedná o vliv masivních konstrukcí na vnitřní prostředí, na který se uplatňuje celá řada totožných fyzikálních principů, nejedná se o obytné budovy nebo budovy trvale využívané. Současně se nejedná o novostavby. Jinými slovy se výzkum v této

oblasti často zaobírá většinou již ustáleným vnitřním prostředím, kdy je dosaženo kvazistálého tepelně-vlhkostního stavu teplosměnných konstrukcí. Je možné využít poznatky, ale setkáváme se s diametrálně odlišnou koncepcí vnitřního provozu, jinými konstrukcemi s jiným chováním.

Budovy spojuje fakt velkého vnitřního prostoru a přirozeně vyšší míry výměny vzduchu, která je umocněna často existujícím komínovým efektem. Co se týče samotných konstrukcí, ukazuje se zde právě řešená měrná tepelná kapacita, akorát v daleko vyšším měřítku. Jak je známo a jak se můžeme přesvědčit téměř u každé historické sakrální stavby, zejména stěnové konstrukce dosahují mnohdy i více jak metrových rozměrů, což vede skutečně k optimální tepelné stabilizaci napříč celým rokem, avšak za ne vždy vhodných teplot. Pro tyto stavby je tak typický problém s vlhkostí a degradací vnitřních omítek. Dalším rozdílem a divergencí od směru výzkumu předložené práce je opět markantním způsobem řešené zhotovení konstrukcí, které se naprosto odlišují od novodobých skladeb stěn či střech. Rozdíl je způsoben zejména materiálem a objemem samotné skladby, zateplením, či spíše jeho naprostou absencí, a zcela odlišnými tepelně technickými normovými požadavky. I přesto se problematika velmi blíží řešeným cílům. Je možné využít informace a poznatky v tomto směru, bohužel však ne pro šikmé střechy, byť pod některými krovky byly například klenby zhotoveny. To ale nikterak nepodtrhává význam, který teoretická analýza v tomto směru problematiky přinesla a který byl využit.



Obr. 8 Měření sakrálních staveb [92]

Před přikročením k další teoretické analýze problematiky je vhodné zmínit, že výzkum ohledně vegetačních a modrých střech vychází ze snahy maximalizovat zelené plochy ve městech z důvodů eliminace vyzařování tepla ze zpevněných ploch. V analogii s našimi cíli zde narážíme právě na problém spojený s nadměrným ukládáním tepla do hmotných materiálů, které nemají šanci v nočních hodinách letních měsíců efektivně vychladat, nebo naopak zvyšují vyzařováním tepelnou zátěž okolních objektů [96]. PCM tuto šanci mají, avšak jejich použití je velmi specifické a nenahrazují plně nosné konstrukce, jako tomu je u v této práci řešených hmotných materiálů.

Celkově, i přes značný rozdíl mezi jednotlivými výzkumnými směry a disciplínami, lze však usoudit, že aktuálnost naší problematiky a touha pro prohloubení vědění je vysoká a je tedy přínosné rozšířit portfolio výzkumné činnosti i o tento směr zkoumání. Současně se jedná o relativně neprozkoumanou problematiku, která vyžaduje rozsáhlé a komplexní zkoumání. Je vhodné takto pojmut i celou koncepci disertační práce.

D.1.2 Chování, přehřívání a tepelně-vlhkostní tok hmotných konstrukcí

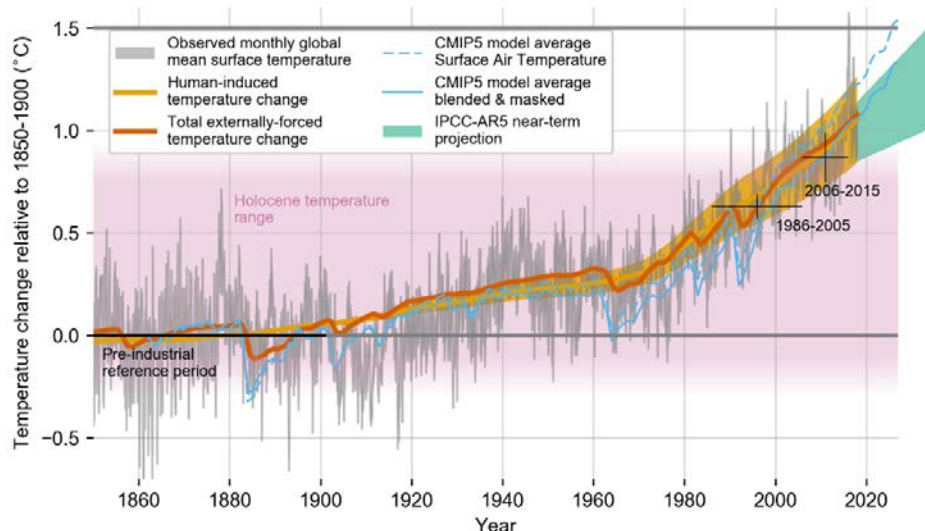
Hmotné materiály disponující vysokou akumulací schopností lze efektivně využít na stabilizaci vnitřního prostředí, avšak pouze za předpokladu správného pochopení a zakomponování. Jelikož je zcela typické použití těchto hmotných skladeb ve střeších zejména v jižních státech, není s podivem, že i odborné články pochází primárně z této oblasti.

Co se týče jejich chování a průběhu teplotního, difuzního toku a současně také akumulace, narážíme tedy na odborné články, které do různé míry popisují samotné chování nebo naopak výhody použití hmotných materiálů na objekty všeobecně, ačkoliv jich bohužel není v tomto směru mnoho. Současně se téměř všechny práce v tomto směru shodují na problematice správného definování okrajových podmínek, které se v závislosti na skladbě mohou velmi lišit. Například M. Zinzi a S. Agnoli [81] se ve své práci shodují na obtížnosti vložení správných dat do správného simulačního softwaru, kdy hlavní problém tvoří velké množství proměnných vstupujících do samotného výpočtu, viz kapitola *B. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY*, a také jejich neznalost nebo obecnost, se kterou jsou často zadávány.

Po důkladném prozkoumání nejrůznějších publikací, které se zaměřují přímo na chování hmotné konstrukce jako celku stojí za zmínku zejména práce E. Rodriguese a kolektivu [97], nebo J. A. Orosy a A. C. Oliveira [98], kteří se ve svých pracích zaměřují na rozlišné chování právě výše zmíněných hmotných konstrukcí a jejich vlivu na vnitřní prostředí. Jelikož jsou modely vstupující do publikační činnosti autorů umístěny v oblastech středozemního moře, lze v korespondenci s úvodem sledovat použití hmotných materiálů i na šikmé konstrukce střešních pláštěů, čímž se blížíme našemu tématu. Autoři se snaží nalézt za pomoci sledování, měření a simulace chování těchto objektů odpověď na otázku přehřívání a akumulace teplot.

Všeobecně si je možné dále povšimnout rozsáhlého výzkumu a snahy snížit energetické nároky například na chlazení objektu, což ostatně potvrzuje například práce F. Ascioneho [85], ve které autor, mimo jiné možnosti jako PCM, zelené střechy a všeobecnými systémy pasivního i aktivního chlazení, zmiňuje právě práci s měrnou tepelnou kapacitou a klade důraz na latentní ukládání energie. Autor se zaměřuje také na minimalizování energie nutně vynaložené na chlazení, tedy v korespondenci s kapitolou *D.1.1 Aktuálnost problematiky na území České republiky a ve světě* hledá možnosti všeobecného snížení energetické náročnosti budov. Pokud vyjdeme dále například z práce E. Rodriguese a M. S. Fernandese [99], nebo S. Sharifiho, W. Samana a A. Alemua [100], narážíme také na otázku budoucího vývoje teplot a chování interiéru, v případě S. Sharifiho přímo u vrchních, podstřešních, prostor. Autoři všeobecně se i přes zavádějící názvy článků snaží nejen varovat před budoucími potížemi, ale zejména se snaží s tímto problémem, tedy značným nárůstem teploty uvnitř skladeb, pracovat a využít ho ve prospěch a další úsporu při provozu objektu. Tímto směrem se také bude ubírat předložená práce, jak je jasné s kapitoly *C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE*.

Teoretickou analýzou problematiky je možné vytvořit následující dílčí závěry a současně nastínit další kroky. Všeobecně se o rozlišném chování hmotných konstrukcí šikmých střešních pláštěů ví a existuje jasné a nepopíratelné povědomí o jak pozitivních, tak negativních přínosech souvisejících právě s předností hmotných konstrukcí, objemové a měrné tepelné kapacity. Samotné chování je zkoumáno zejména z hledisek přehřívání interiéru a průběhu teplot během daného časového období. Záležitost se stává ještě více podstatnou s ohledem na sledovaný vývoj teplot a nárůstu průměrné roční teploty na celosvětovém měřítku viz **Obr. 9**.



Obr. 9 Sledovaný nárůst průměrných ročních teplot [101]

I když se trend sleduje dlouhodobě a jak vypovídá výčet článku je řešen v návaznosti i na naši problematiku, řeší se zejména otázka teplot a akumulace, nikoliv například vlhkost, která často bývá větším zdrojem problémů a ovlivňuje dle rovnic (62) a (63) také tepelný tok.

Z článků a prací lze vydedukovat, že se nezabývají kombinací hmotné konstrukce a tepelného izolantu a také to, že se výzkum a zkoumání samotné zaměřuje primárně na tropická a subtropická podnebná pásma, kde jsou samozřejmě odlišné tepelně technické požadavky, stejně jako jiný koncept vnitřního provozu. Neodráží tedy problematiku klimatických podmínek ČR, která je dle kapitoly *B.6.1 Klimatické podmínky České republiky k roku 2020* nejen odlišná, ale typická v korespondenci s ČHMÚ a viz **Obr. 4** svými relativně vysokými teplotními výkyvy, kdy je nutné řešit jak letní, tak zimní období.

D.1.3 Fyzikální teoretická analýza

Kapitolou *B. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY* byl proveden rozsáhlý průzkum ohledně fyziky, která vstupuje do celé problematiky. Ačkoliv by se mohlo zdát, že chování hmotných materiálů ve skladbách je možné již předem definovat, je tento úkol s ohledem na proměnlivé vnitřní i vnější okrajové podmínky, ochlazování střešního pláště, klíčové akumulační vlastnosti, solární zisky, déšť a další vlivy značně problematický. Tento problém dále podtrhují také relativně rozdílné metody hodnocení akumulace konstrukcí.

Z fázového posunu teplotního kmitu ψ , objemové tepelné kapacity κ a tepelné jímavosti b je jasné, že klíčovou vlastností se stává objemová hmotnost ρ jednotlivých materiálů. Pokud spojíme jednotlivé informace dohromady, měly by hmotné pláště vycházet velmi pozitivně a jejich doba, jak akumulace, tak současně také dalšího vydávání tepla, být značná. Lze tedy bez dalšího zkoumání vyslovit domněnku, že fázový posun teplotního kmitu ψ bude vycházet u hmotných konstrukcí velmi vysoký a dalekosáhle předčí lehčí pláště s rozdílem v řádech i několika hodin. Tento posun může být pozitivní zejména v zimních či přechodových měsících, (například březen, duben, říjen a listopad), kdy nám jde o uchování energie v konstrukci a také o úsporu tepla při ochlazení. Stejný princip má potenciál zajistit, že nebude docházet k přehřívání interiéru v letních měsících. Zde záleží na předmětném fázovém posunu teplotního kmitu ψ , kdy se tento efekt může z hlediska tepelné setrvačnosti konstrukce stát potenciálně nežádoucím.

Pokud však přihlédneme na problematiku relaxační doby [45], která slouží k odhadu tepelné setrvačnosti zjistíme, že hmotné konstrukce všeobecně by měly naopak vycházet daleko

hůře, než je tomu u jejích lehčích variant viz **Tabulka 1** a **Tabulka 2**. Pro tabulky jsou použity identické okrajové podmínky teploty interiéru $\theta_i +20$ °C a teploty exteriéru $\theta_e -15$ °C. Jde o velmi jednoduché, avšak problematiku vystihující tabulkové srovnání.

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	Objemová hmotnost materiálu ρ [$kg \cdot m^{-3}$]	Měrná tepelná kapacita c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	Součinitel teplotní vodivosti α [$m^2 \cdot s^{-1}$]	Relaxační doba τ_0 [h] Vyjádřeno pro různé tl. [mm]			
					150	300	360	400
Měkké dřevo	0,14	600	2150	0,093	33,6	134,4	193,5	239,0
Cihelný blok	0,175	800	960	0,2279	13,7	54,9	79,0	97,5
Minerální vlna	0,04	120	920	0,353	8,8	35,4	51,0	63,0
Pórobeton	0,12	400	840	0,3571	8,7	35,0	50,4	62,2
Cihla plná pálená	0,73	1700	920	0,466	6,7	26,8	38,6	47,7
EPS	0,04	1550	35	0,7373	4,2	17,0	24,4	30,1
Prostý beton	1,3	2000	840	0,7738	4,1	16,2	23,3	28,7

Tabulka 1 Tabulka relaxační doby materiálů různých tloušťek [45]

Materiál	Tloušťka vrstev d [mm]	Relaxační doba τ_0 [h]	0	5	30	60	300	600
			minut	minut	minut	minut	minut	minut
Teplota θ [°C]								
Dřevo	300	134,4	20	19,3	18,3	17,6	14,7	12,4
Cihelný blok	300	54,9	20	18,9	17,3	16,2	11,6	8
Pórobeton	300	35	20	18,7	16,7	15,3	9,4	5,1
Prostý beton	300	16,2	20	18	15,1	13	4,5	1,7

Tabulka 2 Tabulka poklesu teplot $k 0$ °C v závislosti na relaxační době a druhu materiálu [45]

Z výsledků je patrné, že pokud bychom přistoupili k celé problematice pomocí relaxační doby, jsou výsledky naprosto opačné. Při dalším fyzikálním teoretickém zkoumání bylo přistoupeno k faktu, že obě varianty počítají se stacionárním tepelným tokem, který reálně nikdy nenastává. Ani jedna metoda přístupu nezohledňuje celou řadu aspektů, mezi něž patří tepelné zisky a ztráty konstrukce v čase, solární zisky a další. Současně je relaxační doba τ_0 velmi zavádějící u střešních pláštů, protože mocnost dřeva d 300 mm nebude nikdy v celé ploše, oproti jiným hmotným materiálům dosažena. Dále nebude po svou značnou nepřesnost používána.

Výsledky krátké analýzy jsou velmi neurčité a nelze z nich jasně vyvodit závěry nebo říct, jak se konstrukce hmotných pláštů šikmých střech budou skutečně chovat. Jak bylo uvedeno i v kapitole B. *SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY*, musí se vzít v potaz celá řada aspektů, které tyto jednoduché metody nemohou díky své výpočetní simplifikaci pojmout.

Je možné vyslovit závěr, že fázový posun teplotního kmitu ψ , tepelná jímavost b , stejně jako objemová tepelná kapacita κ bude díky mocnosti pláště a jeho rozdílnému chování naprosto odlišným. Pokud vezmeme v potaz tyto tři informace dojdeme k závěru, že hodnoty všech parametrů budou u těžkých pláštů značně vyšší než u pláštů lehkých. To povede k lepší tepelné akumulaci, která bude nastávat po delší časový úsek s vyšším fázovým posunem teplotního kmitu ψ a vyšší tepelnou setrvačností. Jevy mohou mít potenciál vést ke zlepšení stabilizace teplot vnitřního prostředí v zimním a letním období.

Současně je možné říct, že stejné vlastnosti, které je možné považovat ve $\frac{3}{4}$ roku za výhodné, velmi pravděpodobně mohou vést k opačnému a nežádoucímu ohřevu konstrukce a vnitřního prostředí, kdy fázový posun teplotního kmitu ψ ve spojení s dalšími výše uvedenými vlastnostmi jednoduše nedovolí skladbě dostatečně rychle reagovat při změně vnějších teplot na příznivá ochlazení. Výsledné chování je opětovně velmi problematické odhadnout bez rozsáhlé simulace, experimentálního měření a následného adekvátního vyhodnocení. V rámci teoretické fyzikální analýzy docházíme k nejednoznačnosti výsledků.

D.1.4 Další postup pro získání výsledků

Shrnuté informace předchozích kapitol jsou inspirující a podstatné pro další postupy související se sestavením metodiky pro získávání výsledků. Všeobecně nás dosavadní výzkum vede k zamyšlení ohledně sestavení samotného výpočetního modelu pro zajištění cílů viz kapitola C. *CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE*, stejně jako k nutnosti vložení co nejpřesnějších dat. V korespondenci s prací M. Zinziho a S. Agnoliho [81], obdobně jako jiných nejmenovaných, je bezpodmínečně nutné nespolehat se vzhledem k neprozkoumanosti a relativní neprobádanosti tématu na území ČR na normové hodnoty nebo na závěry a data obdržena z jiných odborných textů.

Nutností je sestavit metodiku experimentálního sběru a měření dat, stejně jako metodiku simulačního měření.

D.2 Metodika experimentálního sběru dat a měření

Pro dosažení stanovených cílů je nutné, dle výčtu fyzikálních vztahů a dle teoretické analýzy problematiky, sestavit velmi komplexní experimentální měření, které bude mít za cíl shromážďování dat k analýze. Data budou sloužit také jako vstupní parametry do simulačních programů s cílem se co nejlépe přiblížit skutečnému chování.

Je nutné vybrat nejen optimální objekt splňující kritéria nutná k naplnění cílů, ale také vhodná čidla a způsob, kterým budou jednotlivé parametry měřeny. Současně je nutné monitorovat nejen vnitřní prostředí, ale také skladbu a vnější prostředí.

D.2.1 Cíl experimentálního měření

Cílem experimentu je porozumění chování hmotné skladby šikmého střešního pláště a jejího vlivu na vnitřní prostředí. Za tímto účelem je nutný rozsáhlý monitoring následujících parametrů, dle kterých bude analyzováno chování a vyřčeny odpovědi na jednotlivé cíle. Jedná se o:

- hustotu tepelného toku skladbou,
- teplotu na rozhraní materiálů ve skladbě samotné,
- teplotu a relativní vlhkost vzduchu vnitřního prostředí,
- teplotu a relativní vlhkost vzduchu vnějšího prostředí,
- intenzitu solárních zisků,
- materiálové charakteristiky skladby.

Ačkoliv by bylo možné relativně přesně odhadnout chování samotné skladby na vnitřní prostředí, nebudeme mít možnost ověřit správnost takové simulace, která by mohla značně divergovat od skutečnosti. Kromě materiálových charakteristik, které budou převzaty z podkladů výrobce nebo výpočetně zjištěny odvozením, je tedy nutné všechny výše zmíněné parametry monitorovat. Je tedy nutné sestavit aparaturu tak, aby:

- byla zabudována do skladby,
- monitorovala vnitřní prostředí,
- monitorovala vnější prostředí,
- monitorovala povětrnostní vlivy,

- umožňovala dlouhodobý záznam s dostatečnou hustotou měřených dat.

Bude vybrán objekt, který umožňuje zakomponování čidel v průběhu výstavby nebo umožňuje dodatečně měřicí aparaturu jako celek zakomponovat. Současně je nutné zajistit k aparatuře stálý přístup, nebo rozšířit datové úložiště na dostatečnou velikost. Dále je nutné co nejpřesněji monitorovat povětrnostní vlivy. Pro výběr objektu je vhodné vybudování hydrometeorologické stanice, nebo využití stanic ve vlastnictví ČHMÚ. Z kritérií byl určen následný postup.

D.2.2 Výběr objektu

Výběr objektu se stal relativně problematickou záležitostí, při které bylo nutno přihlížet na celou řadu skutečností. Jmenovitě, kromě výše uvedených, se jednalo o hmotný charakter střešního pláště, užívání objektu po celý rok, možnost instalace měřicí soustavy do skladby a blízkost stanice ČHMÚ. Jak již bylo napsáno, byly vybrány dvě experimentální stavby rodinných domů, které jsou dále kódově označeny jako EX_RD_1 a EX_RD_2, na kterých budou prováděny jak měřicí činnosti, tak i simulace a modelace stavu vnitřního prostředí.

Stavba EX_RD_1 nacházející se v obci Kuřim a jak bylo popsáno v předchozí kapitole, jedná se o rodinný dům vystavěný z pórobetonového konstrukčního systému. Tvar objektu je patrný viz **Obr. 10**, kde je možné vidět hmotu samotného objektu. Objekt tedy splňuje požadavky, avšak při snaze zabudovat měřicí soustavu se vyskytla řada problémů, které vedly k nutnosti vybrat jiný objekt. Problémem byla nemožnost zabudování čidel do skladby, což se stalo kritické. Současně se problematickým stala také absence hydrometeorologické stanice, kterou by bylo nutné zhotovit na vlastní náklady. Objekt však byl vybrán pro základní simulaci stavu vnitřního prostředí sloužící pro ověření hypotézy a jako takový je popsán více v následujících kapitolách.



Obr. 10 Fotografie experimentálního objektu EX_RD_1 [32]

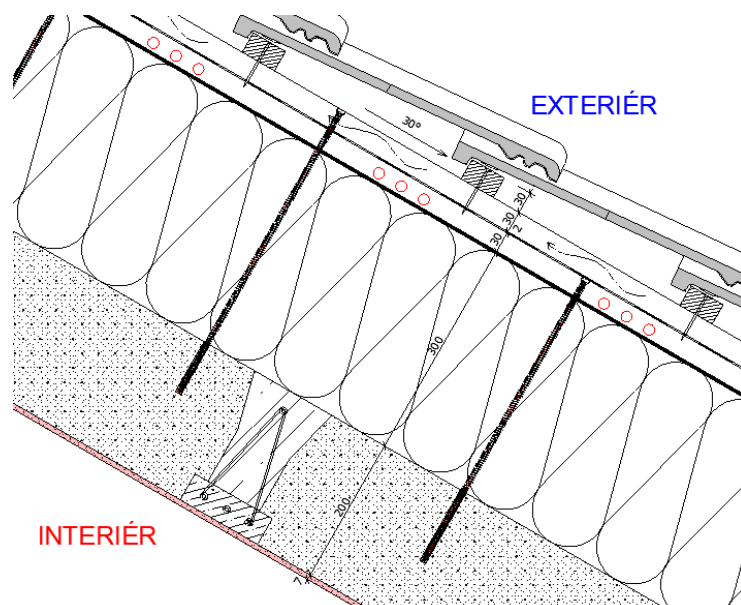
Stavba EX_RD_2 se nachází v obci Pohořelice a opět se jedná o rodinný dům vystavěný z pórobetonového konstrukčního systému. Tvar je patrný viz **Obr. 11**. Jedná se o tvarově velmi jednoduchý objekt, který je zakončen sedlovou střechou. Rodinný dům tedy splňuje nejen požadavky na výběr optimálního objektu, ale výsledky, které je možné obdržet experimentálním měřením, budou daleko méně zkreslené složitou tvarovou geometrií objektu. Objekt byl vybrán pro instalaci experimentální měřicí aparatury, pro pokročilé simulace různých materiálů, vlivu orientace objektu na stav vnitřního prostředí a další. Hmotný plášť měřený aparaturou byl dále podroben důkladnému zkoumání z hlediska tepelně-vlhkostního toku. Objekt je popsán opětovně v následujících kapitolách.



Obr. 11 Fotografie experimentálního objektu EX_RD_2 [32]

D.2.3 Zkoumaná skladba

Předmětnou a zkoumanou skladbou objektu EX_RD_1 a EX_RD_2 je šikmý střešní plášť hmotného charakteru. Tento plášť má následující konstrukci, která je dále patrná viz **Obr. 12**.



Obr. 12 Schéma zkoumané skladby šikmé střechy objektu EX_RD_1 a EX_RD_2 [32]

Nosná konstrukce skladby střešního pláště, která je z konstrukčního hlediska v souladu s normou ČSN 73 1901-1 a 2 [3], [4], je tvořena systémovou střešní konstrukcí z pórobetonu tloušťky d 200 mm a je ve směru kolmo ke sklonu střechy vynesena železobetonovými trávci. Mezi trávce ve vkládána armatura. Probetonávka je realizována betonovou směsí C20/25. Vytváří se polomontovaná konstrukce o příslušné tloušťce, která tvoří hmotný charakter celé konstrukce. Skladba nedisponuje parotěsnicí vrstvou. Její absence je vyvozena předpokladem nepotřebnosti vzhledem k materiálu nedegradujícím vlivem případné vlhkosti a umožněním proudění difuzního toku skladbou. Na hmotný střešní plášť je lepen na nízkoexpanzní PUR pěnu tepelný izolant ve formě grafitového EPS o celkové tloušťce 300 mm. Tento izolant je následně kotven pomocí kontralatí o rozměru 30 x 60 mm pomocí kotevnicích vrtů až do nosné hmotné konstrukce. Pro zajištění eliminace tepelných mostů byly tyto kontralaty podpěny

nízkoexpanzní polyuretanovou (dále jen PUR) pěnou. Na kontralatě je umístěna doplňková hydroizolační vrstva (dále jen DHV) tvořená z difuzně otevřené pojistné hydroizolace DELTA-VENT S. Je tím vytvořena velmi slabě větraná až nevětraná vzduchová vrstva. Následně je vytvořen pomocí latí a kontralatí o rozměru 30 x 60 mm rošt pro uložení krytiny. Tím je současně zajištěno provedení slabě větrané až silně větrané vzduchové vrstvy (dále jen VVV). Krytina samotná je skládaná betonová pálená taška BRAMAC Classic Protector Plus cihlové barvy. Do této skladby je tedy zabudována předmětná a dále specifikovaná měřicí aparatura. Další vlastnosti skladby jsou specifikovány v následujících kapitolách.

D.2.4 Experimentální měřicí soustavy EX_RD_02

V rámci sestavy experimentální měřicí soustavy, která byla zabudována do EX_RD_02 bylo využito výše zmíněných publikací, prostředků ÚPST FAST VUT a prostředků autora. Vzhledem k nutnosti zajistit měření o dostatečné přesnosti, dostatečném druhu snímáných charakteristik, umožnění zabudování čidel do i mimo skladbu a současně také potřebě data shromažďovat v určitém časovém intervalu, bylo analýzou autora vyselektováno portfolio výrobců, kteří disponují čidly splňujícími kritéria. Konkrétně se jedná o výrobce měřicí technologie AHLBORN, COMET a SENSIRION. Z přístrojů a čidel byla sestavena měřicí soustava, jež sestává z dílčích měřicích zařízení.

D.2.4.1 Sestavení experimentální soustavy

Sestava vnitřní části měřicí soustavy pro objekt EX_RD_2 je následujícího složení.

- **AHLBORN „AS01“** – Disponuje měřicím zařízením AHLBORN Almemo 2890-9, které slouží jako datalogger s nastaveným časovým krokem a současně jako ovládací portál pro celou sestavu. Zařízení je zásobováno elektrickou energií a je napojeno na samostatný zdroj energie ve formě UPS, která jej brání před přepětím nebo výpadkem elektrického proudu. Datalogger je vybaven datovým rozšířením, které zvyšuje úložnou kapacitu dataloggeru z 0,5 MB na 128 MB, čímž je umožněn sběr na velmi dlouhý časový úsek. Do záznamových portů zařízení je napojeno celkem 8 samostatných čidel. Konkrétně se jedná o čidlo hustoty tepelného toku o velikosti 110 x 110 mm, čidlo snímající teplotu a vlhkost interiéru a celkem 6 termočlánků, které snímají teplotu na rozhraní jednotlivých materiálů. Postup zabudování a rozmístění je patrný z další kapitoly. Část čidel byla před zabudováním kalibrována akreditovanou laboratoří. Společně se zbývajícími čidly následně proběhla komparace a případná chyba byla eliminována. Časový sběr byl vzhledem ke komplexnosti nastaven po 15 minutách. Sestava AS01 umožňuje monitoring vnitřního prostředí z hlediska teploty vzduchu a vlhkosti. Současně monitoruje průběh teplot na rozhraní všech materiálů ve skladbě samotné, stejně jako hustotu tepelného toku skladbou. Celá sestava je patrná viz **Obr. 13**.



Obr. 13 Fotografie měřicí sestavy AHLBORN AS01 [32]

- **COMET „CT01“** – Soustava sestává ze samostatného dataloggeru COMET S3121 s bateriovým napájením, do kterého je napojena externí sonda, která disponuje teploměrem a vlhkoměrem. Sestava doplňuje monitoring vnitřního prostředí, a tedy i tepelně-vlhkostní čidlo sestavy AS01. Časový sběr byl vzhledem ke komplexnosti nastaven po 15 minutách. Data byla postupně sbírána a analyzována.
- **COMET „CT02“** – Soustava sestává ze samostatného dataloggeru COMET S3121 s napájením, do kterého je napojena externí sonda, která disponuje teploměrem a vlhkoměrem. Tato sestava je určena pro snímání teploty a vlhkosti ve větrané vzduchové vrstvě skladby střešního pláště, tedy prostoru pod krytinou. Časový sběr byl vzhledem ke komplexnosti nastaven po 15 minutách. Data byla postupně sbírána a analyzována. Celá sestava CT01 a CT02 je patrná viz **Obr. 14**.



Obr. 14 Fotografie měřicích sestav CT01 a CT02 [32]

- **SENSIRION „SN01“** – Soustava jako taková sestává z celkem 7 samostatných čidel typu SENSIRION STH 31 Smart Gadget, které disponují samostatnou baterií, tepelně-vlhkostním čidlem a vnitřním datovým uložištěm. Čidla jsou velmi přesná a citlivá na změnu. Jsou tedy vhodná jako dodatečný způsob získávání dat k už tak velmi rozsáhlému experimentálnímu měření. Čidla jsou rozmístěna vhodně po objektu tak, aby bylo možné zaznamenávat hromadně stav vnitřního prostředí. Čidla jsou dodatečně uzavřena v plastovém krytu vytvořeném pomocí 3D tisku autorem práce z důvodů eliminace rušících vlivů, které mohou mít za následek zkreslení měření, mezi které patří přímý sluneční svit, proudění vzduchu a také případně zaprášení. Čidlo včetně obalu je patrné viz **Obr. 15**.

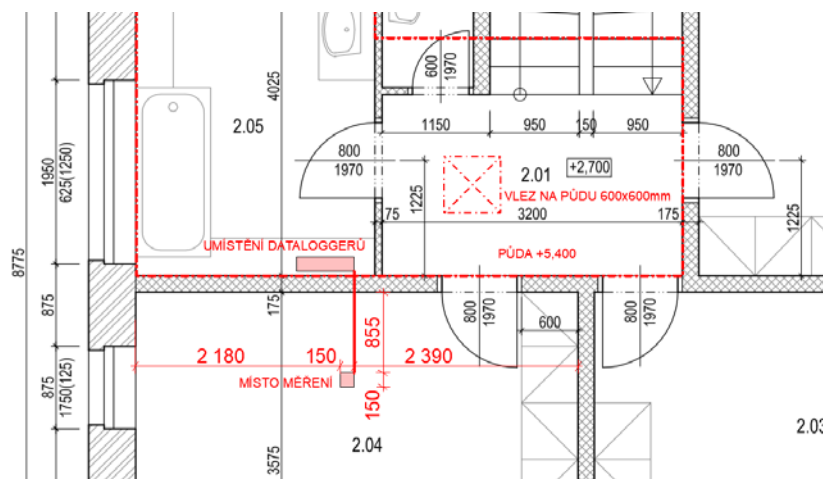


Obr. 15 Čidlo Sensirion SHT31 Smart Gadget včetně obalu [32]

Součástí této komplexní měřicí soustavy, která je umístěna v interiéru předmětné experimentální budovy EX_RD_2 je také externí měřicí stanice ve vlastnictví ČHMÚ, která monitoruje následující parametry.

V místě měření je tedy umístěno celkem 10 čidel, 6 termočlánků ve skladbě, dvě čidla pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu v interiéru a poslední čidlo pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu je umístěno pod krytinou.

Rozmístění čidel SENSIRION je následně ve všech podstatných místnostech objektu, jmenovitě 1.01 Vstup, 1.04 Kuchyň + jídelna, 1.07 Obývací pokoj, 2.02 Ložnice, 2.03 Pokoj, 2.04 Pracovna a 2.05 Koupelna. Půdorys, řez, pohledy a situace viz **Příloha č. 1**. Skladba nad prostorem šikmé střechy je důkladně popsána v následujících kapitolách disertační práce.



Obr. 17 Umístění dataloggerů a místa měření v objektu EX_RD_2 [32]

D.2.4.3 Instalace měřicího zařízení a čidel v předemtném místě

Instalace měřicího zařízení byla vzhledem k prvotní absenci elektřiny, výstavbě samotné a dokončovacím pracím rozdělena na celkem pět etap.

Etapa č. 1 – Tato etapa sestávala ze zabudování čidel do konstrukce střechy před pokládkou střešní krytiny v průběhu zhotovení střešního pláště šikmé střechy. Po výběru optimálního místa měření, tedy nad místností 2.04, bylo nutné zhotovit ze strany prostoru půdy otvor, kterým budou prostrčeny veškeré kabely vedoucí k jednotlivým čidlům. Otvor byl vyvrtán jádrovým vrtákem o průměru cca 40 mm skrze celou aktuálně existující skladbu, tedy hmotný pórobetonový plášť, tepelný izolant a doplňkovou hydroizolační vrstvu (DHV), včetně vzduchové mezery mezi tepelným izolantem a DHV vytvořené laťováním pomocí lať 30 x 60 mm. Na stavbě bylo připraveno také laťování pro pokládku střešních tašek. Do otvoru byly následně zavedeny veškeré kabely viz **Obr. 18**.



Obr. 18 Provedení místa jádrového vrtu pro instalaci čidel [32]

Otvor byl následně zapěněn montážní pěnou pro eliminaci tepelného mostu. Z obou stran byly kabely před zapěněním staženy butylkaučukovou páskou pro eliminaci difuzního proudění. V exteriéru byly veškeré kabely dotaženy nad předmětné místo viz **Obr. 19**, kde byl zpraven pomocí tepelného nože určeného na řezání polystyrenu otvor 150 x 150 mm skrze tepelný izolant až na nosnou konstrukci. Nosná hmotná konstrukce byla v tomto místě očištěna a bylo instalováno první čidlo na měření tepla, které bylo instalováno na rozhraní nosného hmotného pórobetonového konstrukčního systému a tepelného izolantu. Čidlo bylo na kontaktu přelepeno papírovou páskou. Do sondy bylo následně vloženo čidlo pro hustotu tepelného toku. Na toto čidlo byla z obou stran pro eliminaci zkreslení vlivem vytvoření vrstvy vzduchu při nedostatečném přitisknutí nanesena teplo vodivá pasta Keratherm KP 98 zajišťující optimální přenos tepla. Následně byla sonda zapravena. Okolí sondy vyříznuté pro montáž bylo zapraveno kombinací odřezků polystyrenu a následně pomocí zapěnění montážní pěnou DENBRAVEN.



Obr. 19 Provedení sondy skrze tepelný izolant, montáž čidel a zapravení [32]

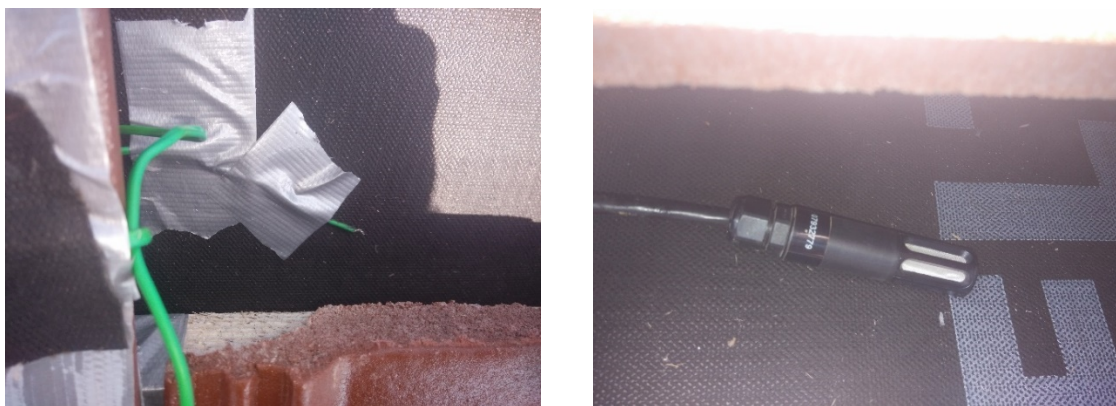
Po zapěnění bylo na povrch tepelného izolantu umístěno další čidlo na snímání teploty povrchu, které bylo přelepeno papírovou a voděodolnou lepící páskou a vnořeno cca 1-2 mm do tepelného izolantu pro lepší ukotvení. Současně byla na střeše zajištěna další čidla tak, aby bylo umožněno následné zakomponování v následující etapě. Jako posledním krokem před ukončením etapy č. 1 byla montáž čidla na snímání teploty na spodním líci nosné šikmé konstrukce střechy viz **Obr. 20**. Toto čidlo bylo zabudováno provrtáním stěny pomocí vrtáku o průměru 8 mm, kterým byl následně prostrčen drát termočlánku. Čidlo bylo na konstrukci přilepeno páskou a společně s drátem bylo při dokončovacích pracích zakryto interiérovou sádrovou omítkou. Čidla se tak nachází nad sebou. Před ukončením etapy byla čidla vyzkoušena pomocí sběru dat a nezabudovaná čidla následně zakryta. Etapa tedy proběhla v pořádku a bez poškození jednotlivých čidel.



Obr. 20 Umístění termočlánků na rozhraní tepelný izolant/DHV a do interiéru [32]

Etapa č. 2 – Etapa navazující na dosavadní činnost spočívá v montáži zbývajících exteriérových čidel skladby šikmé střechy a jako taková byla prováděna současně se zhotovením krytiny šikmého střešního pláště. Je vhodné zmínit, že etapa se zdržela vzhledem k nehodě na stavbě a byla prováděna dva měsíce po první etapě.

Před započítím prací byla v předmětném místě, díky komplikaci s načasováním, částečně rozebrána krytina tak, aby bylo umožněno zabudování čidel. Jako první byl umístěn termočlánek na povrch DVH. Toto čidlo bylo k vrstvě uchyceno pomocí montážní lepicí pásky tak, aby byla zajištěna jeho stálá poloha v předmětném místě. Následně byla do místa VVV umístěna externí sonda tepelně-vlhkostního čidla COMET, kterou díky své váze nebylo nutné kotvit viz **Obr. 21**.



Obr. 21 Umístění termočláneku na DHV a tepelně-vlhkostního čidla do VVV [32]

Následně byly zabudovány zbývající termočláneky na jednotlivé povrchy střešní krytiny vyjmuté v rámci zabudování. První termočlánek byl umístěn na spodní líc střešní tašky, kde byl přitisknut k povrchu a důkladně zajištěn velkým množstvím lepicí pásky, která byla použita kvůli nesoudržnosti povrchu. Následně byl na totéž místo na horním povrchu tašky umístěn poslední termočlánek, který byl poté vhodně zajištěn, opět pomocí lepicí pásky. Blízkost zámku tašky zajišťuje polohu termočláneků i v případě extrémních povětrnostních vlivů viz **Obr. 22**. Taška byla následně navracena na své původní místo a byla provedena zbývajících pokládka krytiny.



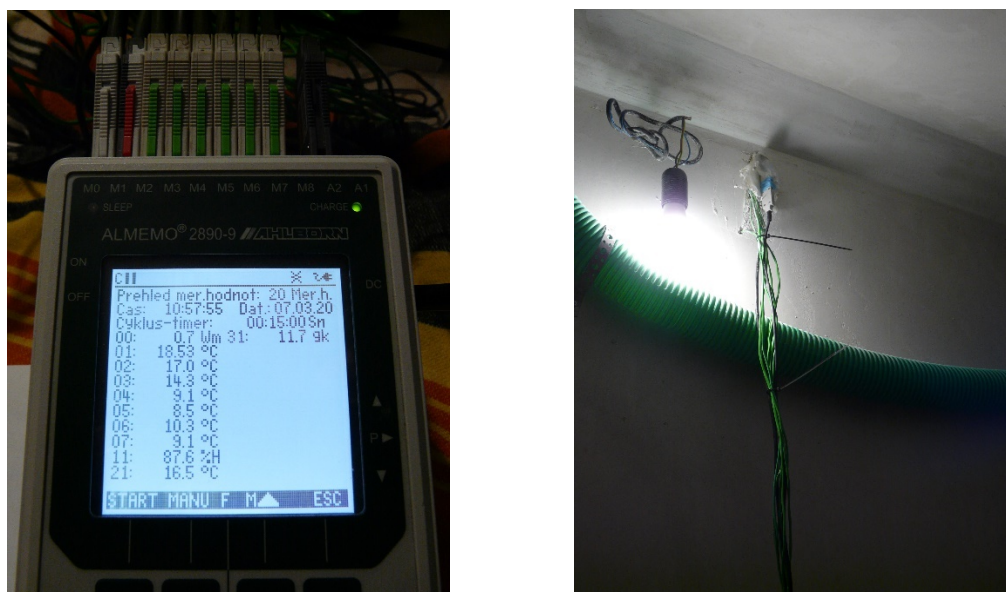
Obr. 22 Umístění termočláneku na spodní a horní stranu krytiny [32]

Z důvodů zkreslení dat přímým dopadem slunečního záření na tašku byl termočlánek na vrchním povrchu tašky částečně zakryt tak, aby nedocházelo ke skokovým změnám ve sběru viz **Obr. 23**. V interiéru byla instalována externí sonda soustavy CT01. Čidla byla ozkoušena a byly spuštěny datalogery soustav CT01 a CT02. Před ukončením byla čidla vyzkoušena pomocí sběru viz **Obr. 23**. Etapa tedy proběhla v pořádku a bez poškození jednotlivých čidel.



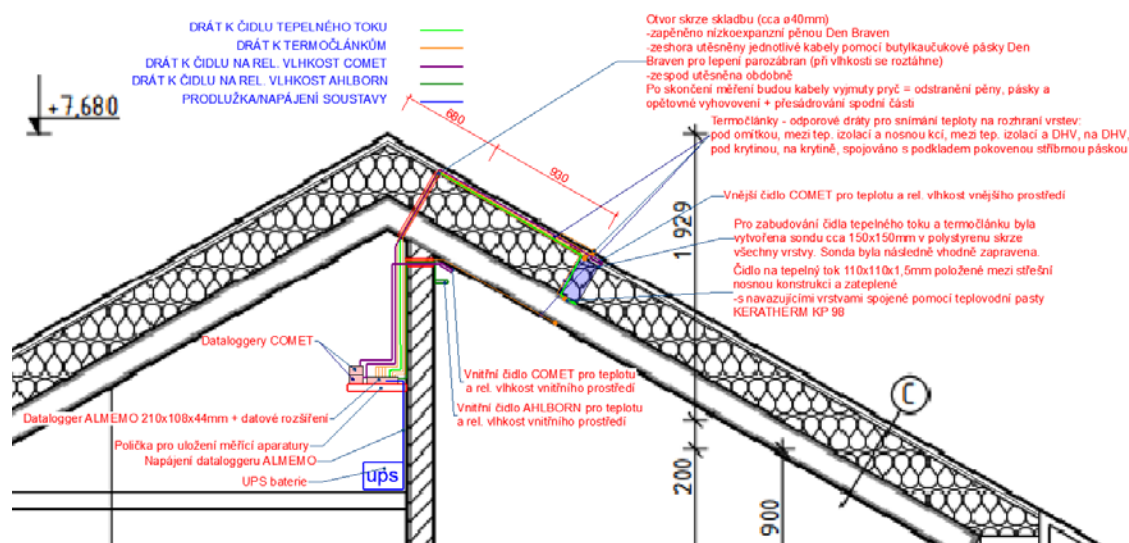
Obr. 23 Zakrytí termočláneku na horním povrchu krytiny následující řadou tašek+sběr dat [32]

Etapa č. 3 – Etapa se odehrála po dokončovacích pracích a po připojení a zhotovení rozvodů elektřiny. Bohužel se díky změnám a problémům tato etapa odehrála téměř 4 měsíce po etapě č. 2. V první řadě bylo v rámci této etapy dosaženo prvotního sběru dat ze soustav CT01 a CT02. Po analýze dat bylo usouzeno, že časový sběr je korektní, tedy že sběr po 15minutových intervalech je dostatečný. Bylo zabudováno poslední tepelně-vlhkostní čidlo pro soustavu AS01. Dodatečně bylo umístěno prodloužení čidla na snímání hustoty tepelného toku z provozních důvodů. Následně byla tato soustava rozšířena o datový modul a spuštěna. Dráty vedení čidel byly očištěny, svázaný dohromady a bylo opětovně provedeno krátké testování pomocí sběru dat viz **Obr. 24**. Etapa tedy proběhla v pořádku a bez poškození jednotlivých čidel. Měřicí aparatura experimentálního objektu EX_RD_2 byla v tento okamžik považována plně za funkční.



Obr. 24 Inicializace měření a svázání drátů čidel vedoucích k místu měření [32]

Etapa č. 4 – Vzhledem k nečekanému výpadku souvisejícímu s velmi nepříznivými povětrnostními podmínkami došlo k několikahodinovému výpadku dodávky elektrického proudu do příslušné části obce, ve které se nachází objekt EX_RD_2. Došlo tak ke ztrátě cca 20 hodin měřených dat v soustavě AS01. Zbývající soustavy, tedy CT01 a CT02 zůstaly díky nezávislosti na externí dodávce proudu bez následku a sběr nebyl přerušen. Tento výpadek vedl k poslednímu rozšíření měřicí aparatury bez nutnosti přidání dalších čidel. V rámci eliminace budoucích obdobných problémů byla do místa měření napojena externí baterie UPS, která současně chrání měřicí soustavu AS01 proti přepětí a také zajišťuje dostatečné vykrytí spotřeby v rámci až několika dní. Tato etapa současně posloužila ke stažení dosavadně naměřených dat a také vedla k finální podobě experimentálního měření, které je patrné z obrázku schématického zabudování viz **Obr. 25**.



Obr. 25 Schématický obrázek polohy a finální podoby experimentální měřicí soustavy [32]

Etapa č. 5 – Etapa původně nebyla hlavním záměrem autora práce. Jejím cílem bylo rozšíření již tak komplexního měření o další čidla, tentokrát sestavy SN01. Tato čidla, která fungují jako samostatně působící datalogery se záznamem dat a měřením teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu, byla vhodně rozmístěna v celém objektu. Spuštění soustavy se konalo téměř 9 měsíců od spuštění samotného měření předcházejících etap. Bohužel se umístění a samotné provedení této etapy potýkalo s celou řadou problémů. Prvním problémem byla chybná komunikace a porozumění samotným čidlům. I přes konzultaci s technickou podporou výrobce nebylo možné čidla nastavit na kontinuální sběr dat bez dalšího sběrného zařízení, v tomto případě smartphonu, které by sloužilo při propojení čidel pomocí technologie Bluetooth jako datové úložiště. Dalším problémem byl sběr dat, který díky nutnosti konstantního propojení čidel a sběrného zařízení nebylo možné bez téměř týdenní manuální obsluhy zřídit. Celkem tedy byl pomocí této sestavy a za pomoci majitele EX_RD_2 nasbíráno k velkému zklamání relativně omezený počet dat, která se vztahují na cca 30 dní. Těchto 30 dní je rozděleno na dvě samostatné 14denní sestavy dat. Data, vzájemně nekontinuální, nebudou použita pro dosažení cílů práce. Poslouží pouze pro porovnání simulovaného chování skladby v čase s reálným průběhem teplot a vlhkostí.

D.2.5 Časový horizont experimentálního měření

Ačkoliv parciální měření probíhalo v rámci disertační práce již od podzimu roku 2019, nebylo viz výše uvedené kapitoly možné jej v plné míře spustit tak, aby mělo vypovídající hodnotu o chování skladby jako takové. Data z tohoto období však bylo možné použít na studium ohledně chování větraných vzduchových dutin.

Oficiální a plné spuštění měřicí aparatury lze tedy datovat v 07.03.2020. Datum však cca o tři týdny předchází nastěhování uživatelů a počátku využívání objektu. Abychom tedy mohli objektivně posoudit chování skladby a jejího vlivu na vnitřní prostředí, je použito dat z časového období od 01.04.2020 do 31.03.2021. Tím je pokryt první rok užívání objektu.

D.2.6 Sbíraná data

Pomocí všech uvedených měřicích zařízení je monitorován následující výčet parametrů, které jsou všechny sbírány v 15minutovém intervalu. Pro účely práce byly veškeré parametry pojmenovány. Jedná se jmenovitě o následující výčet:

- ${}^a\theta_{ai1}$ – Teplota vzduchu v interiéru místnosti 2.04 [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^a\varphi_{ai1}$ – Relativní vlhkost vzduchu v interiéru místnosti 2.04 [%],
- ${}^a q_{k1}$ – Hustota tepelného toku ve skladbě střechy na rozhraní hmotného pláště šikmé střechy a tepelné izolace [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
- ${}^a\theta_{s1}$ – Teplota na rozhraní interiéru a hmotného pláště šikmé střechy [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^a\theta_{s2}$ – Teplota na rozhraní hmotného pláště šikmé střechy a tepelné izolace [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^a\theta_{s3}$ – Teplota na rozhraní tepelné izolace a nevětrané vzduchové vrstvě [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^a\theta_{s4}$ – Teplota na povrchu DHV, tedy rozhraní DHV a VVV pod krytinou [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^a\theta_{s5}$ – Teplota na spodním líci střešní krytiny [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^a\theta_{s6}$ – Teplota na horním líci střešní krytiny [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^c\theta_{ai2}$ – Teplota vzduchu v interiéru místnosti 2.04 [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^c\varphi_{ai2}$ – Relativní vlhkost vzduchu v interiéru místnosti 2.04 [%],
- ${}^c\theta_{e,v}$ – Teplota vzduchu ve VVV střechy [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^c\varphi_{e,v}$ – Relativní vlhkost vzduchu ve VVV střechy [%].

Data zaznamenaná stanicí B2POHO01 jsou pro účely práce označena následovně:

- ${}^{chmi}\theta_{e1}$ – Teplota vzduchu průměrná v exteriéru [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^{chmi}\theta_{e,sp,min}$ – Přízemní minimální teplota vzduchu měřená 5 cm nad zemí [$^{\circ}\text{C}$],
- ${}^{chmi}\varphi_{e1}$ – Relativní průměrná vlhkost vzduchu v exteriéru [%],
- ${}^{chmi}D$ – Průměrný směr větru [$^{\circ}$],
- ${}^{chmi}v_a$ – Průměrná rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- ${}^{chmi}v_{a,max}$ – Maximální rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- ${}^{chmi}SRA_{10M}$ – Úhrn srážek za 10 minut [mm],
- ${}^{chmi}SSV_{10m}$ – Úhrn slunečního svitu za 10 minut [s],
- ${}^{chmi}RGLB_{10}$ – Hustota globálního záření – souhrnná [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].

Veškeré měřené parametry jsou použity pro hodnocení chování skladby nebo jako vstupní parametry simulací v souladu s kapitolou C. *CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE*.

D.3 Metodika simulace

Dle hypotéz a cílů z nich vycházejících je nutné dohromady s experimentálním měřením v rámci pochopení chování skladby a vnitřního prostředí sestavit komplexní sérii modelů. Modely poslouží pro hlubší pochopení chování vnitřního prostředí, v tomto případě podstřešního prostoru, který je ukončen řešeným šikmým hmotným pláštěm, a také skladby samotné. V rámci této kapitoly disertační práce se uvádí výběr softwaru a postup, který k výběru směřoval. Stejně tak je součástí této kapitoly postup, který bude aplikován v rámci jednotlivých simulací.

D.3.1 Volba optimálního softwaru

Ačkoliv se k prostředkům k dosažení a naplnění cílů v oblasti softwarového vybavení již práce vyjadřuje, není doposud řečeno, co přesně výběru předchází. Volba softwaru (dále jen SW) se stala kritickou pro práci s množstvím dat, tak také pro přesnost, která je v rámci cílů vyžadována.

Z cílů práce viz kapitola *C.2 Zdůvodnění volby a způsob dosažení výsledků*, vyplývá potřeba SW, který současně zvládá výpočet nestacionárního tepelného a také difuzního toku nejen konstrukcí skladby, tedy v rozměru 1D. Současně je SW schopen pro dosažení cíle 3 simulovat vliv této skladby na vnitřní prostředí z hlediska tepelné stability.

Z informací vstupujících do požadavků je také nutné zařadit potřebu vložení experimentálně naměřených a získaných dat pro co nejpřesnější průběh simulace. Nesmíme opomenout v případě simulování vnitřního prostředí z hlediska tepelné stability potřebu mít možnost definovat jak koncepci užívání vnitřních prostor objektu, tak zejména geometrii stavby a její natočení vůči světovým stranám.

Výběr softwaru cíle č. 1, 2 a 4 – Co se týče výběru softwaru pro simulaci tepelně-vlhkostního toku, tak již od kapitoly *B.4 Šíření vlhkosti ve stavebních konstrukcích* je výběr velmi jednoznačný. Je tedy nutný software, který dokáže pracovat s rovnicemi stanovenými profesorem Künzelem [34], tedy konkrétně (62) a (63). Jelikož se jedná o stanovení chování skladby, a ne komplexní konstrukce celého objektu, je zapotřebí softwaru, který s těmito rovnicemi umí pracovat a který současně pro dosažení cílů 2 a 4 umožní změnu skladby. Jako nejlepší nástroj pro tuto problematiku byl zvolen software WUFI Pro EDU verze 6.5.2 [35].

Výběr softwaru cíle č. 3 – Výběr softwaru se stal v otázce simulace vnitřního prostředí a jeho natočení vůči světovým stranám velmi komplikovanou záležitostí, zejména z hlediska přesnosti výpočtu. Jako nejvhodnější se nabízely softwary BSim [103], DesignBuilder [104], EnergyPlus [105], IES Virtual Environment [106], WUFI Plus [107] a také TRNSYS [108]. V návaznosti na práci J. Yanga, H. Fua a M. Qina [109] bylo usouzeno, že nejlepším softwarem pro případnou simulaci je program s názvem EnergyPlus [105], který je jedním z nejpřesnějších programů při simulacích právě v našem směru zájmu. Bohužel se program vyznačuje relativně problematickým prostředím, zejména v oblasti modelace simulovaného prostředí, která je v tomto případě důležitá. Současně je, i přes jeho extrémní účinnost, velmi komplexním a vyžaduje velmi problematicky kvantifikovatelné údaje, což ve finále vede k nepřesnosti.

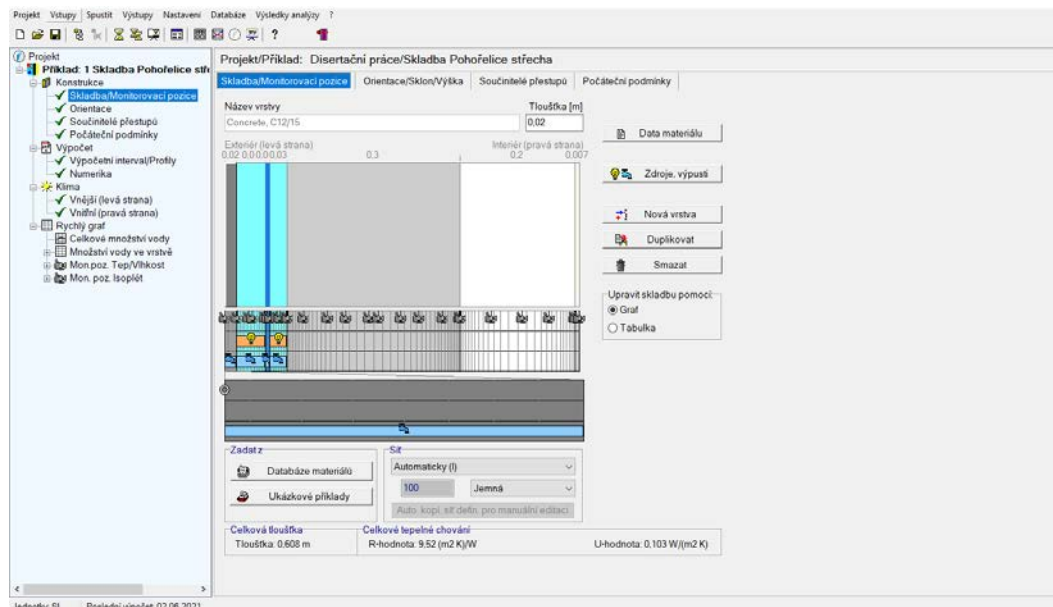
Nakonec byl vybrán s ohledem na uživatelskou zkušenost [110] přívětivější software DesignBuilder, jehož výpočetní jádro je složeno právě s dříve zmíněného softwaru EnergyPlus, s nímž je mimo jiné kompatibilní. Byla zvolena verze 6.1.8.021.

D.3.2 Výpočetní software WUFI Pro

Program WUFI Pro [111] vytvořil německý výzkumný institut Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP [112], konkrétně poté Department of Hygrothermics, jehož vedoucí je již opakovaně zmíněný prof. Dr. Hartwig Künzle [35]. Software slouží pro zkoumání tepelně-vlhkostní analýzy za pomoci vytvoření dynamické simulace, která umožňuje přesně modelovat jednorozměrné šíření tepla, vlhkosti a energie ve stavebních konstrukcích a materiálech.

Software umožňují používat i české technické normy ČSN, kdy jmenovitě článek normy ČSN 73 0540-2 [2] připouští možnost použití pokročilejších výpočtových možností dle ČSN EN 15026 [113]. Software WUFI Pro tyto požadavky splňuje a současně daleko přesněji popisuje skutečnost [114], než tomu je u normy ČSN EN 15026, která pracuje s Glaserovými metodami (54).

Principiálně funguje program na dvojici diferenciálních rovnic pro nestacionární přenos tepla a vlhkosti (62) a (63), jak je definováno v kapitole *B.4.5 Přesný numerický výpočet přenosu vlhkosti a tepla*. Pro výpočet je nutné přesně definovat skladbu, materiály, které obsahuje včetně jejich vlastností, orientaci, sklon, součinitele přestupu, počáteční podmínky a okrajové podmínky. Prostředí SW je velmi přehledné a jednoduché viz **Obr. 26**.

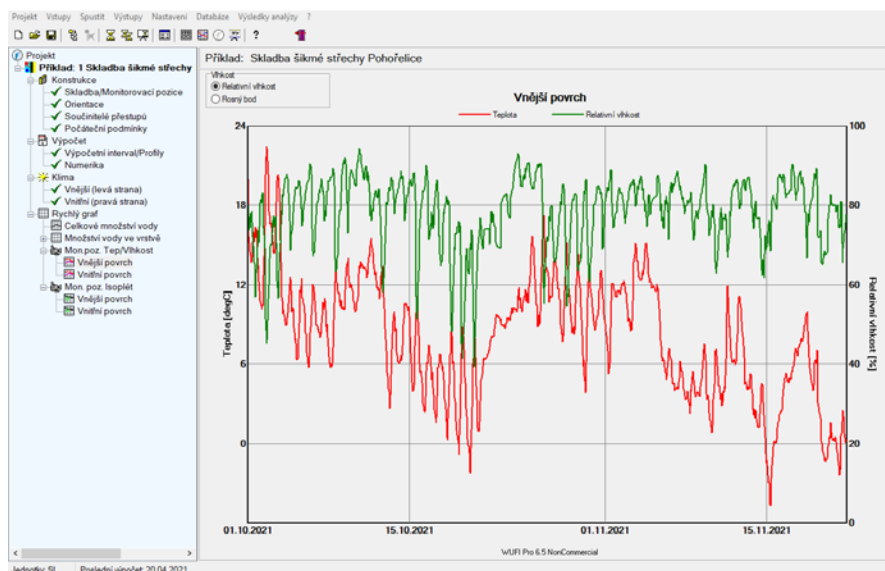


Obr. 26 Prostředí programu WUFI Pro 6.5 – zadávání [32]

Doba simulace je dána uživatelem a jako taková je neomezena. Dále jako uživatelé nastavujeme numeriku výpočtu, tedy to, co chceme zjistit. Současně můžeme do výpočtu zahrnout při zadávání materiálu vnitřní zdroje tepla, vlhkosti a také výměnu vzduchu. Hlavní výhodou, kterou SW poskytuje, je možnost zadání exteriérových i interiérových dat, které má uživatel možnost vytvořit pomocí vestavěného převodníku. Této výhody je využito i v případě předložené práce, kdy z dat naměřených stanicí B2POHO01 byly vytvořeny vstupní parametry simulace jako exteriérová data a poté z naměřených dat v místnosti 2.04 Pracovna byla vytvořena data interiérová. Lze tak očekávat velmi vysokou přesnost simulace. Materiály, které je možno ručně definovat, jsou díky svým totožným parametrům vybrány z databáze materiálů programu samotného. Byly provedeny případné korekce vycházející z odlišného součinitele tepelné vodivosti, mírně odlišné měrné tepelné kapacity, nebo další.

Samotný výpočet je spuštěn v prostředí programu. Výsledkem následné simulace je časová řada, kterou je možno převést do tabulkového editoru Excel a je možné s ní dále pracovat a data analyzovat. SW samotný alternativně poté nabízí grafickou interpretaci dat viz **Obr. 27**.

Přes svou velmi vysokou přesnost se můžeme setkat s rezervami simulace, které vycházejí z idealizace materiálových parametrů, nepřesností při zadávání parametrů, nebo uživatelsky vnesenou chybou vlivem neznalosti softwaru. Současně není možné v tomto softwaru zohlednit proměnlivé proudění vzduchu, změnu jeho směru, rychlosti a tím tedy ochlazování nebo naopak zahřívání skladby jako takové. Tato informace byla brána v potaz.



Obr. 27 Prostředí programu WUFI Pro – výsledky simulace [32]

D.3.3 Výpočetní software DesignBuilder

Program DesignBuilder v 6.1.8.021 je označován za jedno z nejvíce pokročilých uživatelských rozhraní pro vnitřní výpočtové jádro softwaru EnergyPlus, konkrétně poté jádro verze 8.9, které je celosvětovým nástrojem pro energetické modelování a simulování tepelně-vlhkostního stavu vnitřního prostředí. V rámci předmětného programu, který umožňuje zjišťovat denní osvětlení, navrhovat vzduchotechniku, odhadovat náklady na provoz, optimalizovat jak spotřeby, tak i náklady na objekt, ale také například poskytuje podrobná data o proudění vzduchu a rozložení teplot v budovách a okolí za pomoci metody CFD (Computational Fluid Dynamics), bude využito jeho modulu s názvem Simulace.

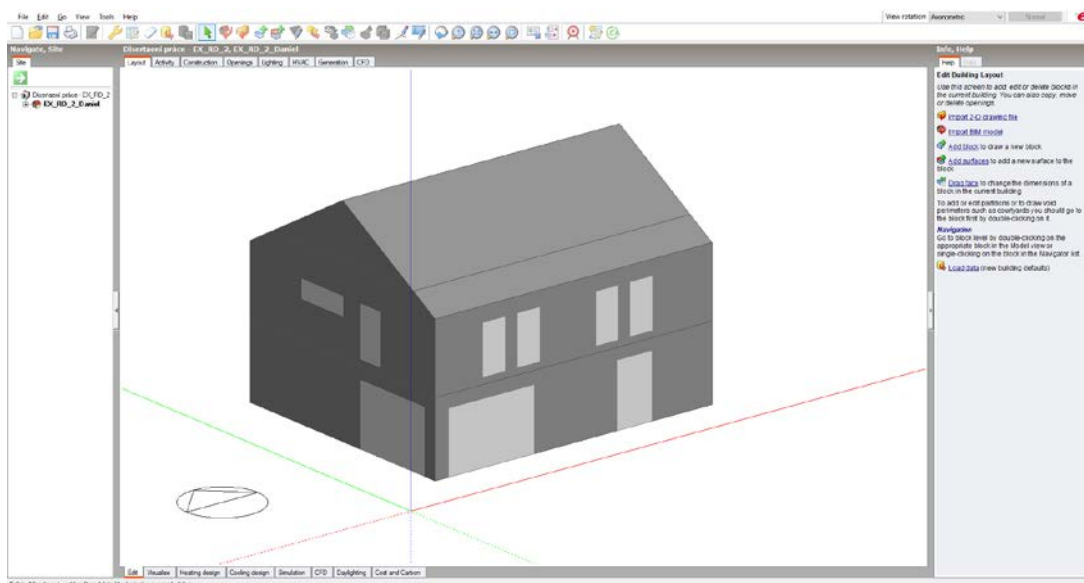
Modul [115] umožňuje dle kapitoly B.6.3 *Metody výpočtu tepelné stability* pokročilou dynamickou simulaci vnitřního prostředí, při které lze simulovat velké a rozsáhlé časové úseky s poskytnutím údajů o spotřebách energie, tepelné pohodě, údajů o solárních ziscích, povrchové teplotě a výměně tepla. Je nutností co možná nejvíce přesně specifikovat, pro přesný a správný výpočet, okrajové podmínky.

SW vychází z vlastního modelu předmětné simulované konstrukce či objektu, který za pomoci dalšího modulu, tentokrát s názvem 3-D modelář, pro potřeby simulace zhotovíme jak pro EX_RD_1, tak pro EX_RD_2. Následně rozdělíme hmotu konstrukce na stěny, desky, podlahy, šikmé konstrukce, výplně otvorů a další, například stínící konstrukce. Dohromady konstrukce vytváří zóny, jež jsou dále popsány celou řadou okrajových podmínek. Veškerým prvkům přiřadíme buď z databáze, nebo pomocí vytvoření či úpravy stávajících materiálů vlastnosti obdobně jako v softwaru WUFI Pro.

Dále je důležité definovat co možná nejpřesněji koncepci užívání vnitřního prostředí. Je nutné říct, jak budou nejen jednotlivé místnosti, ale objekt jako takový, užívány z hlediska počtu osob, doby jejich pobytu v jednotlivých místnostech, tepelně-vlhkostních zdrojů v interiéru, způsobu vytápění, doby, kdy bude objekt vytápěn, jak je daná místnost osvětlena a zejména, velmi kritická informace, jak bude objekt větrán a stíněn a s jakou intenzitou.

SW dále pracuje se sérií vnějších okrajových podmínek, které jsou čerpány nejčastěji z dat poskytovaných společností ASHRAE/IWEC [60] („International Weather for Energy Calculations“). Data komplexně pokrývají a přesně popisují veškeré povětrnostní podmínky a tím zaručují správné a reálné chování případné simulace. V rámci co nejvyšší přesnosti je využito dat naměřených stanic B2POHO01 Pohořelice, která jsou díky nutnosti mít co nejvíce komplexní informace zkombinována s daty stanice B2BTUR01 Brno-Tuřany a vloženy do SW.

Pracovní prostředí je rozdělené viz **Obr. 28** na navigaci modelem a na samotné dialogové okno, které se mění s označeným prvkem v navigaci. Navigace po modelu má celkem 4 možnosti výběru prvků/úrovní. Prvním je projektový objekt či projektová lokalita, v rámci, které definujeme samotnou hmotu objektu, lokalitu, ve které se nachází a také region stavby. V rámci lokality určujeme a můžeme ručně zadávat povětrnostní data, stejně jako další údaje související s umístěním stavby, jako nadmořská výška, okolní zástavba apod. Současně natáčíme a určujeme odklon objektu od severu. Druhou úrovní je předmětný objekt, kde definujeme geometrii tvaru, včetně případných stínících prvků. Prvky mohou být přiřazeny i do následující úrovně. Třetí úrovní je předmětná zóna nebo místnost, kterou následně uzavíráme jednotlivými konstrukcemi. V rámci místnosti určujeme parametry koncepce užívání, intenzitu větrání apod. Poslední úrovní je poté samotná konstrukce, případný stavební otvor s či bez výplně, který se v ní nachází.



Obr. 28 Prostředí programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]

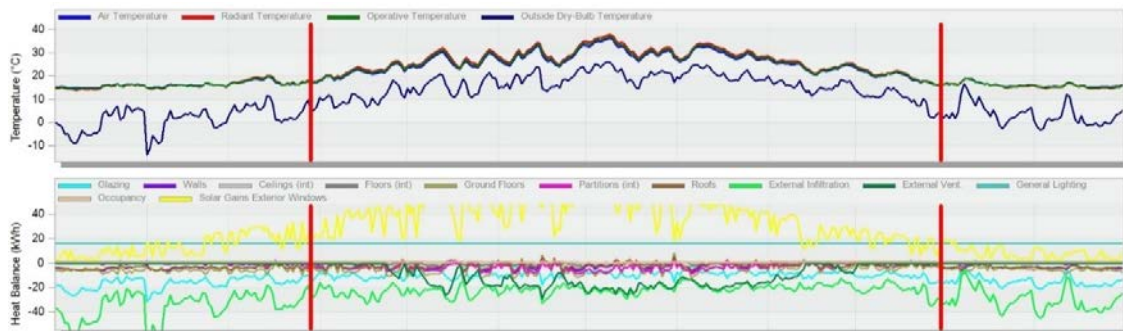
Při vytváření modelu je nutné správně definovat vše, co souvisí s modelem, stejně jako je klíčové definovat vzájemnou interakci zón mezi sebou. Výsledkem takového modelu je následně velmi přesná simulace tepelně-vlhkostního stavu vnitřního prostředí, za předpokladu správného nastavení a zohlednění všech okrajových podmínek. Metodologii výpočtu, alternativně způsob, kterým jsou v čase předávány veličiny tepelného i vlhkostního toku, je možné vyjádřit soustavou vzájemně svázaných rovnic metody „Conduction Transfer Functions“ (dále jen CTF) [116], kterou je možno vyjádřit například pro hustotu tepelného toku uvedeným vzorcem.

$$q_{ko}''(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j \cdot \theta_{To,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j \cdot \theta_{Ti,t-j\delta} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (74)$$

kde

q_{ko}	q_{ko}	hustota tepelného toku [$W \cdot m^{-2}$]
θ_{To}	θ_{To}	termodynamická teplota exteriéru [K]
θ_{Ti}	θ_{Ti}	termodynamická teplota interiéru [K]
t	t	daný časový krok
X, Y	X, Y	faktory odezvy, koeficient met. CTF
$j\delta$	$j\delta$	koeficient toku CTF

Výsledkem je komplexní průběh teplot, vlhkosti, solárních zisků a například i větrání v čase viz **Obr. 29**. Součástí je také tepelná bilance jednotlivých konstrukcí. Při správném definování okrajových podmínek je možné dosáhnout vytyčených cílů kapitoly C. **CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE** jak v případě skutečného stavu a orientace objektu, tak i za předpokladu plného simulování a nového fiktivního stavu, na kterém bude zjišťován vliv hmotného pláště na vnitřní prostředí.



Obr. 29 Výsledný průběh teplot programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]

Software samotný, stejně jako jeho výpočetní jádro je neustále vyvíjeno. Lze tak očekávat v budoucnosti daleko přesnější výsledky a simulace. Bohužel, stejně jako předchozí SW, i tento má své limity, které vychází opět z idealizace okrajových podmínek a nutnosti zjednodušit v některých místech geometrii samotného objektu, či užívání jednotlivých místností.

Není bohužel možné, jak bylo opakovaně zmíněno v souvislosti s experimentálním měřením, dosáhnout naprosté přesnosti simulace. Výsledky může do značné míry ovlivnit celá řada idealizací souvisejících zejména s užíváním a větráním objektu, které není možné správně kvantifikovat, navzdory rozsáhlému experimentálnímu měření realizovaném v rámci této práce. Proto bude software použit pouze pro jeden z cílů práce, kdy tento cíl pracuje s rozsáhlou změnou okrajových podmínek, konkrétně orientací objektu. Přesto lze očekávat, že závěry simulace budou, zejména s ohledem na velmi podrobné a komplexní informace ohledně vnějších okrajových podmínek a povětrnostních vlivů, dostatečně přesné pro validní a adekvátní závěr.

D.3.4 Kompilace modelu WUFI

Model programu WUFI Pro bude dle předchozí kapitoly a metodiky simulace sestávat celkem z 3 částí, které budou zajišťovat jeho funkčnost. Jedná se jmenovitě o následující výčet.

- **Data tepelně-vlhkostního stavu vnitřního prostředí** – rozsah bude určen dle příslušné simulace. Uvažuje se s vložením dat pro teplotu s označením $a_{\theta_{ai1}}$ a $c_{\theta_{ai2}}$.

Data budou před vložením vzájemně porovnána v čase a bude vybrána ta časová řada, která vykazuje menší směrodatné a průměrné odchylky. Dále se uvažuje s vložením dat pro relativní vlhkost vzduchu s označením $a\varphi_{ai1}$ a $c\varphi_{ai2}$. Data budou opět vzájemně porovnána a vybrána ta řada, která vykazuje menší směrodatné a průměrné odchylky.

- **Data tepelně-vlhkostního stavu vnějšího prostředí** – rozsah bude určen dle příslušné simulace. Jelikož bude simulace komplikovaná ve smyslu množství vnějších vlivů, je nutno takto přistupovat i k samotnému modelu, který bude nutné výpočetně zkontrolovat. Uvažuje se s různou kombinací dat, kdy se bude kontrolovat na základě experimentálně zjištěných parametrů simulovaný průběh ve vrstvách. V rámci toho se uvažuje v první kombinaci s vložením dat pro teplotu $a\theta_{s6}$ a relativní vlhkost vzduchu $chmi\varphi_{e1}$. Tato kombinace odpovídá stavu teploty na vnějším povrchu krytiny a vlhkosti v jejím prostředí. Dále bude použita kombinace dat pro teplotu $chmi\theta_{e1}$ a relativní vlhkost vzduchu $chmi\varphi_{e1}$. Dalšími teplotami použitými jako vstupní parametry je teplota vzduchu ve větrané vzduchové vrstvě střechy $c\theta_{e,v}$ a přízemní minimální teplota vzduchu měřená 5 cm nad zemí $chmi\theta_{e,sp,min}$. Výsledná kombinace bude zvolena na základě výsledků simulací, kdy bude pomocí integrace ploch výsledných průběhů a jejich porovnání s reálným průběhem zvolena ta varianta, která vykazuje nejmenší výchyly/nejvyšší podobnost.
- **Konstrukce skladby šikmé hmotné střechy** – konstrukce střechy je popsána viz kapitola D.2.2 *Výběr objektu*. V rámci modelu je nutné dodat informace, kromě tloušťky, také objemovou hmotnost, porozitu, měrnou tepelnou kapacitu, tepelnou vodivost, faktor difuzního odporu vodních par a případně vázané tepelně vlhkostní funkce. Bude plně využito databáze programu WUFI Pro 6.5.

Pro vytvoření dat ohledně teplot a vlhkostí bude použito nástroje SW WUFI Pro 6.5 s názvem „Create Climate File“, v rámci kterého bude vytvořen soubor s příponou .KLI využitelný v rámci simulace. Do tohoto souboru budou, kromě výše zmíněných teplot a relativních vlhkostí, vstupovat také informace ohledně atmosférického tlaku, globálního slunečního záření $chmiRGLB_{10}$ vyjádřeného intenzitou [$W \cdot m^{-2}$] a úhrnu srážek $chmiSRA_{10M}$. Obě hodnoty budou převedeny z 10minutového intervalu do hodinového intervalu. Model bude sestaven pouze pro skladbu EX_RD_2.

D.3.5 Kompilace modelu DesignBuilder

Kompilace modelu je oproti programu WUFI daleko komplexnější a jako taková sestává z daleko většího objemu dat a požadavků, ze kterých je nutno obstarat pro dosažení optimální přesnosti simulace. Jedná se jmenovitě o následující výčet.

- **Data tepelně-vlhkostního stavu vnějšího prostředí** – rozsah dat je nutné dodat v horizontu, optimálně, nejméně jednoho kalendářního roku. Budou použita data sestavená obdobně jako u programu WUFI. Tato data budou zkombinována s daty ASHRAE/IWEC pro stanici Brno-Tuřany, která poskytuje komplexnější data, než je tomu v případě měřicí stanice B2POHO01. Vzhledem k faktu, že se objekt nachází v relativně malé vzdálenosti od předmětné stanice, budou nahrazeny pouze informace ohledně teplot, vlhkosti, záření a srážek. Současně bude dopočítán další parametr ohledně teploty rosného bodu, k čemuž bude použit August-Roche-Magnusův vzorec [117], upravený dle Sonntaga, konkrétně korektury z roku 1990 (Sonntag90) [118],

[119]. Výpočet je pro teplotu vzduchu -45 °C až $+60\text{ °C}$ s odchylkou $\pm 0,35\text{ °C}$ dle uvedené rovnice.

$$\theta_{dp} = \frac{243,12 \cdot \ln \cdot \left(\frac{\varphi_e}{100} \cdot e^{\frac{17,62 \cdot \theta_e}{243,12 + \theta_e}} \right)}{17,62 - \ln \cdot \left(\frac{\varphi_e}{100} \cdot e^{\frac{17,62 \cdot \theta_e}{243,12 + \theta_e}} \right)} \text{ [°C]} \quad (75)$$

kde θ_{dp} teplota rosného bodu [°C]
 φ_e relativní vlhkost vzduchu vnějšího prostředí [%]
 θ_e teplota vzduchu vnějšího prostředí [°C]

- **Osazení objektu v lokalitě** – v rámci simulace budou objekty osazeny v předmětných lokalitách, kde bude zohledněno jejich natočení vůči světovým stranám, případná okolní zástavba, nadmořská výška, průměrné měsíční teploty a větrná oblast.
- **Koncepce vnitřního prostředí** – oba objekty budou z hlediska koncepce vnitřního užívání co nejvíce upraveny tak, aby simulace odpovídala reálnému stavu. U každé místnosti objektu se bude zohledňovat osazení osobami z hlediska počtu a času, metabolické teplo, oblečení v průběhu roku, vybavení, vytápění, větrání, stínění a celá řada dalších faktorů. Vzhledem ke komplexnosti budou použity hodnoty databáze programu a doplněny o hodnoty vycházející z používání danými vlastníky (nastavení topení, rozmístěný přístrojů apod.). Vzhledem k zaměření SW není nutné stanovovat teploty nebo relativní vlhkost vnitřního prostředí.
- **Plný geometrický model objektů** – bude sestaven objekt tak, aby co nejvíce odpovídal své skutečnosti. Za tímto účelem bude v daném softwaru sestaven model objektu odpovídající projektové dokumentaci, který bude zohledňovat vzájemné propojení místností pomocí dveří a pater pomocí schodiště. Současně budou zakresleny veškeré související stavební otvory včetně jejich výplní. Budou zohledněny případné stínící prvky a přesahy střechy. V rámci simulace je nutné stanovit veškeré materiálové charakteristiky všech konstrukcí, tedy podlahy na terénu, obvodových stěn, vnitřních nosných stěn, vnitřních nenosných stěn, podlahy na stropu, střešního pláště, okenních otvorů, vstupních dveří a vnitřních dveří. To znamená přiřazení objemových hmotností, měrné tepelné kapacity, součinitele tepelné vodivosti, faktoru difuzního odporu, solární a tepelnou pohltivost, případné vlastnosti PCM (neuvažuje se), barevnost povrchu, zohlednění vlhkostního toku a poté u výplní otvorů parametry zasklení (vlastnosti rámu, míru zasklení, součinitel prostupu tepla, počet tabulí, výplňový plyn, typ distančního rámečku, hodnotu světelného činitele, celkový činitel prostupu sluneční energie a případné stínění). U všech konstrukcí je nutné dodržet všechny rozměry.

Model bude sestaven jak pro EX_RD_1, tak pro EX_RD_2 velmi obdobně. Hlavním rozdílem je podrobnost, se kterou jsou jednotlivé modely sestaveny. Kde je EX_RD_1 využit pouze jako objekt pro základní simulaci s účelem potvrzení hypotéz a je v některých svých ohledech zjednodušen, například v samotné koncepci, je EX_RD_2 velmi podrobně definován, aby bylo možné dosáhnout s dostatečnou přesností odpovědi na cíl 3 ohledně orientace teplosměnné konstrukce.

D.3.6 Časový horizont simulace WUFI Pro a vstupní parametry

Určitou nevýhodou programu WUFI Pro 6.5 je nutnost zadávání výchozí zabudované vlhkosti, stejně jako prvotní výchozí teploty jednotlivých vrstev. Co se týče zabudované vlhkosti, je využito plně informací a experimentálně stanovených dat databáze instituce Fraunhofer IBP [112]. Výchozí teploty jsou nastaveny plošně na hodnotu 10 °C. Idealizace byla vnesena do modelu záměrně.

Pro eliminování chyby, která byla vnesena do simulace jinou teplotou vrstev, než je tomu ve skutečnosti, stejně jako možnou jinou zabudovanou vlhkost, je časový horizont simulace, konkrétně její počátek, záměrně posunut o 3 měsíce. Simulace v programu WUFI Pro 6.5 tedy probíhá od 01.01.2020 do 31.03.2021. Aby bylo možné odstranit chybu, jsou uvažována data ve stejném časovém horizontu, jako v případě experimentálního měření, tedy od 01.04.2020 do 31.03.2021, kdy už se uvažuje vyrovnání teplot a vlhkostí ve vrstvách s jejich skutečným stavem a je možné s velmi vysokou pravděpodobností předpokládat, že průběh i chování vrstev se blíží skutečnosti. Pro časový sběr záznamu je uvažováno se stejnou časovou intenzitou, jako u experimentálního sběru dat, tedy po 15 minutách.

D.3.7 Časový horizont simulace DesignBuilder a vstupní parametry

Časový horizont simulace provedené v programu DesignBuilder je totožný jako v případě programu WUFI Pro. Ačkoliv není nutné zadávat v případě výpočtu vlhkost nebo počáteční teplotu v jednotlivých vrstvách, je uvažováno s vyrovnáním stavu skladby jako takové a tím tedy přesnějším výsledkům. Časový sběr záznamu je opětovně volen stejný jako u programu WUFI Pro a experimentálního sběru, tedy po 15 minutách.

E. ZÁKLADNÍ SIMULACE A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

- ❖ **E.1** Cíle základní simulace a předmětný objekt zkoumání
- ❖ **E.2** Výsledky základní simulace
- ❖ **E.3** Analýza výsledků základní simulace
- ❖ **E.4** Experimentální měření a jeho doplnění simulací
- ❖ **E.5** Analýza výsledků experimentálního měření a simulace

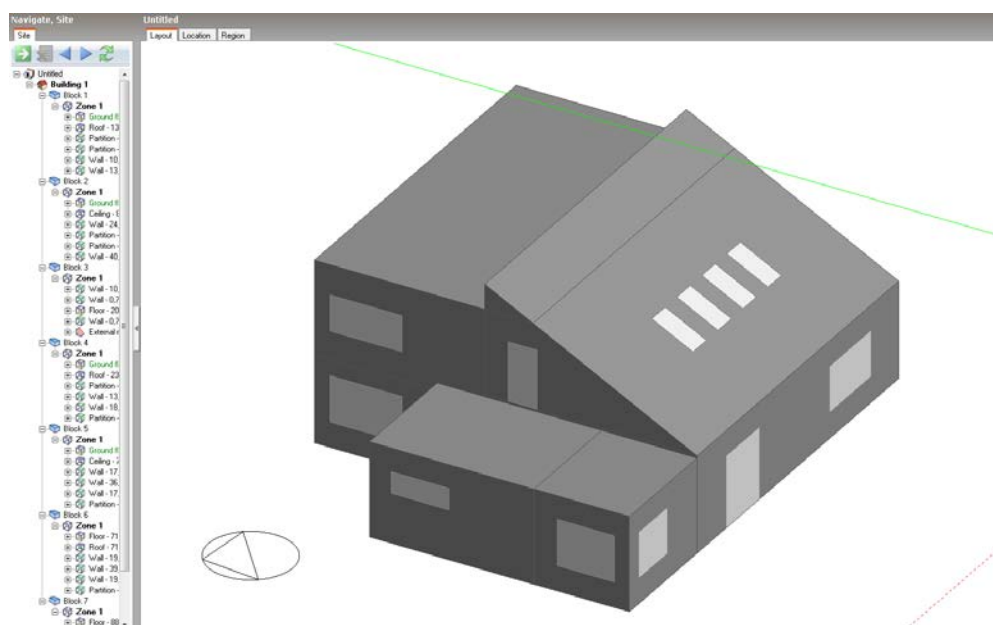
E.1 Cíle základní simulace a předmětný objekt zkoumání

Cílem základní simulace, který si stanovuje tato podkapitola, je potvrzení hypotézy/domněnky kapitoly *B.7 Sestavení hypotéz*, že hmotné materiály ve střeše ovlivňují pozitivně i negativně vnitřní prostředí, a do jaké míry tomu tak skutečně je. Za tímto účelem bude využito experimentálního objektu EX_RD_1 Brno – Kuřim, který bude dle předchozí kapitoly sestaven v programu DesignBuilder a následně podroben výpočtu. Objekt byl zvolen pro relativně jednoduché ověření vzhledem k omezenému množství dat a informací, která by byla potřeba, pokud bychom se rozhodli vlastnosti zkoumat hlouběji a která se nepodařilo zajistit. Za účelem potvrzení hypotézy jsou však vstupní informace považovány za dostatečné.

E.1.1 Podrobnější popis objektu EX_RD_1, jeho vlastnosti a geometrie

Popis objektu byl zevrubně uskutečněn v rámci kapitoly *D.2.2 Výběr objektu* a požadavky na model samotný je možné zjistit z kapitoly *D.3.5 Kompilace modelu DesignBuilder*. Stavba se také stala předmětem autora této práce, ve které byla zkoumána a následně potvrzena hypotéza samotná [120].

Stavba EX_RD_1 je dána dokumentací viz **Příloha č. 2**, ze které jsou patrné veškeré geometrické návaznosti. Pro simulaci v programu DesignBuilder byl sestaven model sestávající celkem ze 7 samostatných zón viz **Obr. 30**.



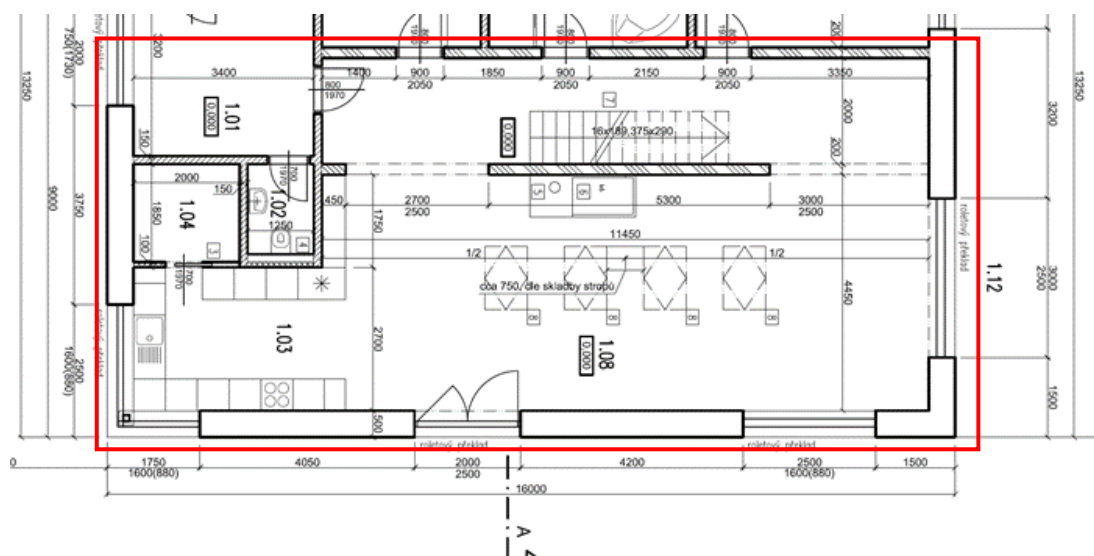
Obr. 30 Objekt EX_RD_1 vymodelovaný v programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]

Vlastnosti související s objemem vnitřního prostředí, sklonem střechy apod., jsou patrné viz **Příloha č. 2**. Z obrázku je možné si povšimnout relativně složité geometrie, která, mimo jiné, vedla k opuštění tohoto experimentálního objektu pro další analýzu. Stavba se nachází cca 286 m n. m. Objekt slouží pro ubytování čtyřčlenné rodiny ve složení 2x dospělá osoba a 2x dítě. Užívání objektu je odpovídající užívání běžného rodinného domu. Tento předpoklad je vnesen do všech místností a zón, kde byl zohledněn pobyt a hustota osob v jednotlivých místnostech, jejich oblečení, vykonávaná činnost apod. Dále bylo zohledněno vybavení v objektu, stejně jako větrání, vytápění, stínění a chlazení objektu pomocí přirozeného větrání.

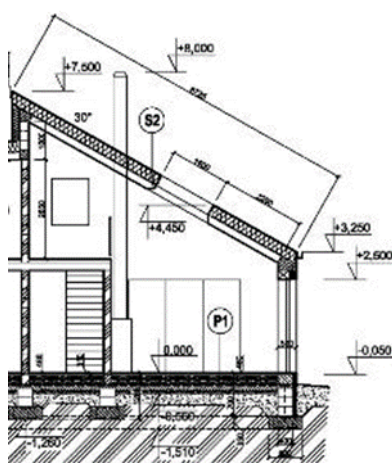
Z vizualizace viz **Obr. 30** je patrné natočení objektu předmětnou střechou na severovýchodní stranu s odklonem od severu cca 40°, tedy na stranu, která nevykazuje značné solární zisky. Jelikož je zbytek objektu, kromě dvou modelových zón nezakončen zkoumanou šikmou střechou s hmotným pláštěm, je další popis zaměřen pouze na zkoumanou místnost, čehož se týká také popis vstupních vlastností ohledně koncepce vnitřního prostředí a dalších informací.

E.1.2 Popis zkoumaných zón simulace

Zkoumaná místnost EX_RD_1 se nachází na severovýchodní straně objektu. Její účel v projektové dokumentaci i modelu je veden jako obytná místnost a kuchyně s označením 1.03 + 1.08 Obývací pokoj + kuchyně. Vytápění místnosti je řešeno pomocí podlahového vytápění a konvektorů. Jak je možné si povšimnout z geometrie viz **Obr. 31** a **Obr. 32**, místnost je relativně značně prosvětlena okenními otvory ve stěnách i střeše. Současně je možné si povšimnout neobvyklého konstrukčního řešení a sice průběhu místnosti do obou pater, kde ve 2.NP se nachází galerie. Stínění je řešeno pouze v rámci oken ve stěnách. Pro účely simulace není jejich vliv zohledněn.

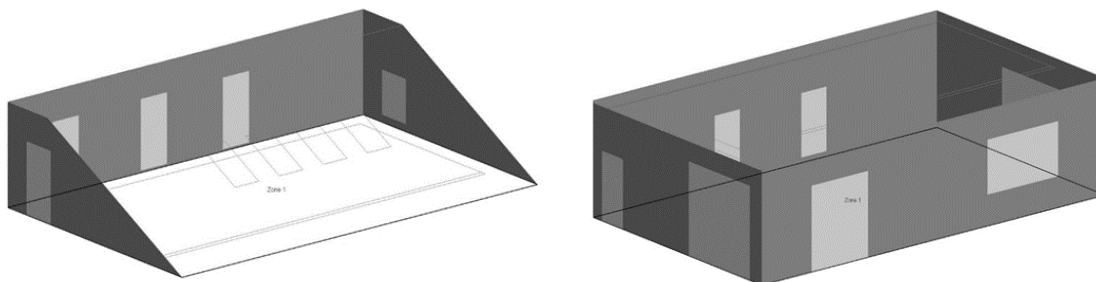


Obr. 31 Místnost simulace 1.03+1.08 Obývací pokoj + kuchyně – půdorys 1.NP [32]



Obr. 32 Místnost simulace 1.03+1.08 Obývací pokoj + kuchyně – Řez A-A' [32]

V rámci simulace byly tyto místnosti vyselektovány, spojeny do jedné zóny a idealizovány ve smyslu absence schodiště. Zóna, která takto vznikla je patrná viz **Obr. 33**. Idealizace není zásadní a nemá patrný vliv na simulaci. Stav je tedy považován za vyhovující.



Obr. 33 Zóny simulace – idealizované zobrazení zóny ve 2.NP + 1.NP před jejím spojením [32]

Parametry konstrukcí předmětných teplosměnných ploch zón, které je nutné definovat jako vstupní informace z hlediska programu DesignBuilder, jsou shrnuty viz **Tabulka 3**, kde jsou uvedeny plochy A a součinitelé prostupu tepla U . Další vlastnosti, jako konkrétní použité materiály, objemovou hmotnost ρ a měrnou tepelnou kapacitu c je možno zjistit viz **Příloha č. 2**.

	Podl. terén	Int. stěny	Obv. stěny	Int. dveře	Stř. okna	Okna	Stř. plášť
A [m²]	85,73	85,15	82,39	7,63	5,12	15,62	82,3
U [W·m⁻²·K⁻¹]	0,158	0,65	0,156	2,7	1,68	0,781	Viz skl. A/B
Objem místností V (1.03+1.08) 400,564 m³, hodnota činitele prostupu sluneční energie oken g_g=0,54							

Tabulka 3 Vlastnosti předmětné zóny 1.03+1.08 Obývací pokoj + kuchyně

Z vlastností je možné zjistit, že objekt vykazuje velmi dobré tepelněizolační vlastnosti, které budovu řadí do kategorie nízkoenergetických až pasivních staveb. Lze si povšimnout velmi kvalitních výplní okenních otvorů jak z hlediska součinitele prostupu tepla U , tak z hlediska hodnoty činitele prostupu sluneční energie g . Další parametry, jako například parametry pro průkaz energetické náročnosti budovy (dále jen PENB) nebyly zajištěny.

V dalších parametrech bylo postupováno dle technické dokumentace objektu. Místnost je charakteristická svým vysokým objemem obestavěného prostoru. Z tabulky je možné zjistit, že záměrně byla vynechána informace ohledně vlastností střešního pláště. Aby bylo možné lépe vyjádřit závěry a popsat hypotézu, budou do modelového prostředí vloženy dvě rozdílné skladby, které budou následně porovnávány z hlediska průběhu teplot v čase.

E.1.3 Skladby střešního pláště

Aby bylo možno vyjádřit vliv materiálu střechy na stav vnitřního prostředí, byly vybrány a do modelového prostředí SW DesignBuilder zakomponovány dvě skladby, které jsou označeny v rámci simulace jako **Skladba A** – Hmotný plášť z pórabetonového materiálu a **Skladba B** – Dřevěný krov se zateplením mezi a nad krokve. Základní stavebně-fyzikální parametry materiálů nejsou vzhledem k povaze simulace dále rozepsány.

Skladba A odpovídá reálnému stavu objektu. EX_RD_1 je skladbou skutečně ve svém šikmém plášti zakončen. Skladba má hmotný charakter a je vytvořena z pórabetonového konstrukčního systému, který tvoří jak nosný systém, tak i uzavřenou, téměř monolitickou vrstvu. Zvláštností skladby je, že nedisponuje parotěsnicí vrstvou. Skladba má následující složení odrážející reálné provedení:

- vnitřní sádrová omítka tloušťky 7 mm,
- nosná polomontovaná pórobetonová konstrukce s prolévanými železobetonovými žebry tloušťky 200 mm, vzdálenost žebor na osovou vzdálenost je 680 mm, beton typu C20/25,
- tepelná izolace z EPS s grafitem tloušťky 300 mm, kotveno pomocí nízkoexpanzní PUR pěny a následně pomocí laťování a vrutů skrze celou tloušťku až k podkladu.
- kontralatě rozměrů 30 x 60 mm vytvářející velmi slabě větranou vzduchovou vrstvu,
- pojistná hydroizolace z difuzně otevřené pojistné hydroizolace DELTA-VENT S tloušťky cca 1 mm,
- kontralatě rozměrů 30 x 60 mm vytvářející VVV,
- latě rozměrů 30 x 60 mm vytvářející VVV,
- skládaná střešní keramická krytina tmavé barvy.

Skladba B odpovídá svou kompozicí většině obdobných skladeb na území ČR. Skladba je lehkého charakteru, kdy hlavním nosným prvkem je dřevo, v tomto případě konkrétně dřevěné krokve dimenze 100 x 160 mm. Skladba je následujícího složení:

- SDK podhled z desek RIGIPS RF tloušťky 12,5 mm kotven přes parotěsnicí vrstvu ke krokví,
- parotěsnicí vrstva z fólie lehkého typu DEKFOL N AL 170 Special tloušťky 0,7 mm,
- krokve z hranolů KVH dimenze 100 x 160 mm, osová vzdálenost 900 mm (z konstrukčního hlediska by bylo v reálném případě pravděpodobné, že skladba by disponovala buď vyššími krokvemi, nebo ocelovým rámem, který by vynášel prvky na velkou světlost),
- tepelná izolace z minerální vlny DEKWOOL G035 r ROLL mezi krokve, tloušťka 160 mm,
- tepelná izolace umístěna nad krokve z polyisokyanurátových (dále jen PIR) desek tloušťky 80 mm kotvené do krokví,
- bednění z dřevovláknitých desek EGGER DHF tloušťky 15 mm kotvených do krokví,
- doplňková hydroizolační vrstva DEKTEN MULTI-PRO II tloušťky 0,48 mm,
- kontralatě rozměrů 30 x 60 mm vytvářející VVV,
- latě rozměrů 30 x 60 mm vytvářející VVV,
- skládaná střešní keramická krytina tmavé barvy.

Skladby je možné dále charakterizovat výpočtovými hodnotami součinitele prostupu tepla U a také plošnou hmotností ρ_s , viz **Tabulka 4**.

Předmětná skladba	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	ρ_s [$kg \cdot m^{-2}$]
Skladba A – Hmotná pórobetonová konstrukce	0,112	220,504
Skladba B – Dřevěný krov + izolace mezi a nad krokve	0,165	43,60

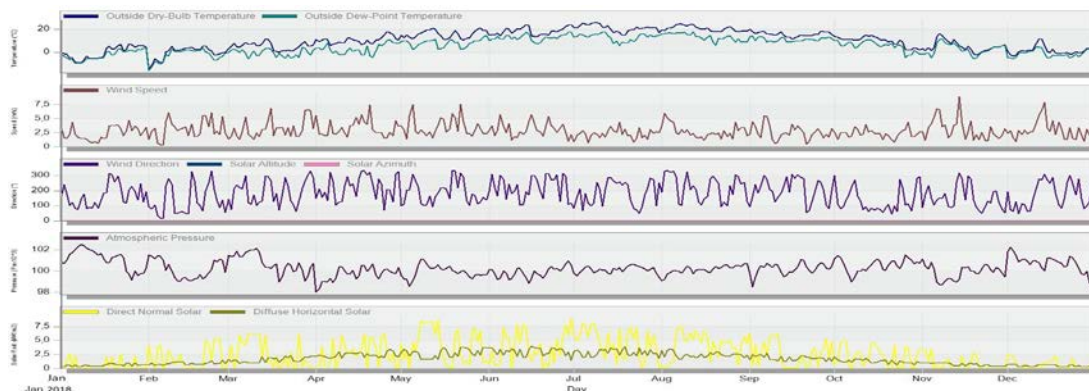
Tabulka 4 Vlastnosti skladeb pláště šikmé střechy základní simulace

Skladba A vychází z hlediska tepelné techniky, jenž je často nešťastně měřena pouze součinitelem prostupu tepla U , velmi dobře a v pasivním standardu. Oproti tomu skladba B vychází relativně hůře a „pouze“ v doporučených hodnotách součinitele prostupu tepla U [2].

Současně je však skladba A téměř pětinasobně těžší, jak si můžeme povšimnout na plošné hmotnosti ρ_s , což jí dává charakter těžké/hmotné konstrukce [2]. Je vhodné říct, že pórobeton se řadí ještě mezi pomyslné lehčí materiály. V případě například keramiky, nebo nejtěžšího z variant železobetonu, můžeme dosahovat daleko vyšších hodnot. Hmotnost se zdatelně odráží i na zde neuvedené objemové tepelné kapacitě κ , kdy lze předpokládat, že skladba A bude vycházet s několiknásobně vyššími hodnotami. Teoreticky by tak skladba A měla vykazovat lepší vlastnosti znamenající lepší tepelnou stabilitu.

E.1.4 Vstupní vnější okrajové podmínky simulace

Základní simulace pracuje s daty ASHRAE/IWEC [60], které byly získány k roku 2018, kdy byla současně psána publikace autora [120], ve které byla řešena stejná problematika. V rámci co nejpřesnější simulace byly zohledněny parametry související s teplotou vzduchu exteriéru θ_e , relativní vlhkostí vzduchu φ_e , θ_{dp} teplotou rosného bodu vzduchu exteriéru, rychlostí větru v , směrem větru, atmosférickým tlakem p_a a solárními zisky $RGLB$. Hodnoty je možné zjistit z následující tabulky vypublikované pomocí SW viz **Obr. 34**.



Obr. 34 Vnější okrajové podmínky [32]

Celkově tak nebylo provedeno velké množství idealizací modelu nebo vnějších okrajových podmínek a lze tak očekávat, že simulace by měla posloužit jako vhodný prostředek na zodpovězení hypotéz.

E.2 Výsledky základní simulace

Výsledky jsou vyjádřeny pomocí sledovaných parametrů vnitřního prostředí, kdy je sledována teplota vzduchu interiéru θ_{ai} (označeno jako **VZD**), radiační teplota θ_{rad} (označeno jako **RAD**) a poté operativní teplota θ_{ope} (označeno jako **OPE**) vyjadřující teplotu prostředí. Aby bylo patrné, jakým způsobem je využíváno vnitřní prostředí, je vyjádřena intenzita větrání (označeno jako **Inten. větr.**), ve které je zohledněno otevírání oken během denních i nočních hodin. Jelikož se snažíme nalézt odpověď na první otázku jiného vlivu skladby na vnitřní prostředí, byl posouzen stav odpovídající reálnému osazení objektu do terénu, tedy s natočením 40° od severu.

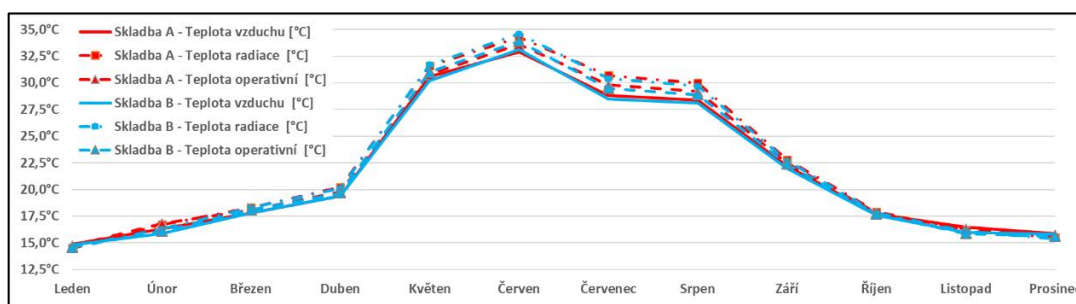
E.2.1 Skutečné natočení objektu

Výsledky simulace odpovídají a reprezentují skutečný stav objektu a hledají odpověď na otázku první hypotézy ohledně vyvození možných negativních i pozitivních vlivů hmotných plášťů. Jelikož je orientace předmětné teplosměnné plochy na severovýchod, lze tuto simulaci

označit jako simulaci při nízkých solárních ziscích (zkratka **NSZ**). Výsledky jsou prezentovány v rámci celého roku viz **Tabulka 5** a viz **Graf 2**.

Skladba	[°C]	Průměrné teploty během 1/10 roku									
Skladba A	VZD	14,88	17,80	19,42	30,60	32,89	28,82	28,40	22,15	17,71	15,87
	RAD	14,47	18,34	20,22	31,55	34,32	30,69	30,03	22,83	17,93	15,50
	OPE	14,67	18,07	19,82	30,80	33,61	29,75	29,22	22,49	17,82	15,69
Skladba B	VZD	14,84	17,79	19,35	30,17	33,11	28,51	28,12	22,04	17,61	15,79
	RAD	14,27	18,32	20,13	31,72	34,62	30,39	29,73	22,72	17,79	15,41
	OPE	14,55	18,05	19,74	30,95	33,86	29,45	28,93	22,38	17,70	15,60
Inten. větr. [h ⁻¹]		0,77	0,72	0,73	1,54	1,53	1,54	1,15	0,72	0,72	0,73

Tabulka 5 Výsledky simulace nízkých solárních zisků vyjádřeny v tabulce



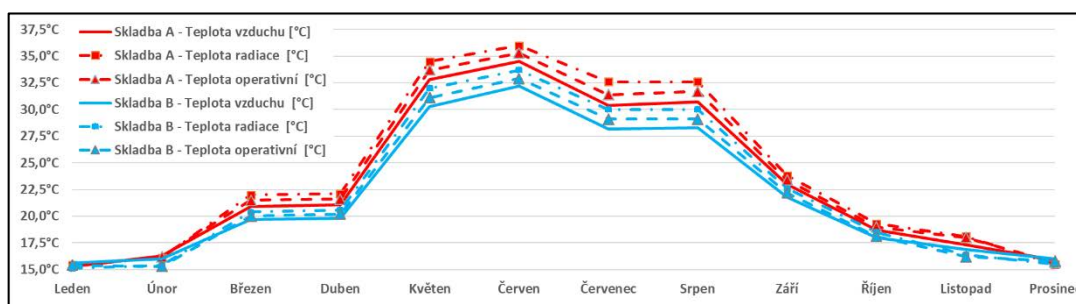
Graf 2 Výsledky simulace nízkých solárních zisků vyjádřeny grafem [32]

E.2.2 Fiktivní natočení objektu

Výsledky simulace odpovídají fiktivnímu stavu objektu a hledají odpověď na otázku druhé hypotézy ohledně míry akumulace solárních zisků do skladby, které mohou být pozitivní ve svém přínosu i negativní. Pro účely dalšího zkoumání je podstatné hypotézu potvrdit, nebo vyvrátit. Objekt byl natočen ostře na jih a odklon je zvolen 220°. Jelikož jsou teplosměnné plochy na velmi prosluněné strany, lze simulaci označit jako simulaci při vysokých solárních ziscích (zkratka **VSZ**). Výsledky jsou prezentovány pro celý rok viz **Tabulka 6** a **Graf 3**.

Skladba	[°C]	Průměrné teploty během 1/10 roku									
Skladba A	VZD	15,31	20,91	21,09	32,79	34,49	30,41	30,74	22,95	18,70	15,89
	RAD	15,40	21,98	22,14	34,54	36,02	32,42	32,64	23,75	19,26	15,53
	OPE	15,35	21,45	21,61	33,67	35,25	31,42	31,69	23,35	18,98	15,71
Skladba B	VZD	15,59	19,66	19,79	30,29	32,23	28,22	28,28	21,83	18,00	15,99
	RAD	15,12	20,43	20,64	32,00	33,66	30,04	29,97	22,55	18,24	15,52
	OPE	15,35	20,04	20,22	31,14	32,94	29,13	29,13	22,19	18,12	15,75
Inten. větr. [h ⁻¹]		0,77	0,72	0,73	1,54	1,53	1,54	1,15	0,72	0,72	0,73

Tabulka 6 Výsledky simulace vysokých solárních zisků vyjádřeny v tabulce



Graf 3 Výsledky simulace vysokých solárních zisků vyjádřeny grafem [32]

Základní simulace byla provedena pro dva stavy, kdy jeden odpovídá skutečnému osazení objektu a druhý fiktivnímu osazení s účelem maximalizovat solární zisky. Oba stavy byly zaměřeny na zkoumání rozdílu mezi lehkou skladbou B šikmého pláště střechy a těžkou skladbou A šikmého pláště střechy.

E.3 Analýza výsledků základní simulace

Z předchozích kapitol *E.2.1 Skutečné natočení objektu* a *E.2.2 Fiktivní natočení objektu* je i z průběhu grafů již patrné, že hypotézy jsou v obou případech potvrzeny. Je potvrzen fakt odlišného chování hmotných plášťů z materiálů s vysokou měrnou tepelnou kapacitou, které jsou zabudovány do střešních plášťů. Míra samotného ovlivnění je dále umocněna natočením objektu vůči světovým stranám a s mírou solárních zisků, jak je také možné si povšimnout z grafů.

Aby bylo možné vyvodit přesné závěry základní simulace, bylo provedeno dvojí porovnání zaměřené na srovnání skladeb mezi sebou a současně srovnání totožných skladeb v různých stavech odklonu konstrukce od severu.

E.3.1 Výsledky vzájemného srovnání mezi skladbami A a B

Byly srovnány jednotlivé varianty A a B mezi sebou tak, aby bylo možné vyvodit rozdíly mezi odlišností skladeb. Hodnoty z tabulek předcházející kapitoly pro jednotlivé skladby A a B byly od sebe vzájemně odečteny a porovnány viz **Tabulka 7 a 8**.

Skladba	[°C]	Průměrné teploty během 1/10 roku									
Skladby A-B (NSZ)	VZD [°C]	0,04	0,01	0,07	0,43	-0,22	0,31	0,28	0,11	0,1	0,08
	RAD [°C]	0,2	0,02	0,09	-0,17	-0,3	0,3	0,3	0,11	0,14	0,09
	OPE [°C]	0,12	0,02	0,08	-0,15	-0,25	0,3	0,29	0,11	0,12	0,09
Skladby A-B (VSZ)	VZD [°C]	-0,28	1,25	1,3	2,5	2,26	2,19	2,46	1,12	0,7	-0,1
	RAD [°C]	0,28	1,55	1,5	2,54	2,36	2,38	2,67	1,2	1,02	0,01
	OPE [°C]	0	1,41	1,39	2,53	2,31	2,29	2,56	1,16	0,86	-0,04

Tabulka 7 Vzájemné porovnání mezi skladbami A a B

Skladba	[°C]	Průměr	Průměr. odchylka	Minimum	Maximum
Skladby A-B (Nízké zisky)	VZD [°C]	0,121	0,1195	-0,22	0,43
	RAD [°C]	0,078	0,1244	-0,30	0,30
	OPE [°C]	0,073	0,1089	-0,25	0,30
Skladby A-B (Vysoké zisky)	VZD [°C]	1,340	0,7364	-0,28	2,50
	RAD [°C]	1,551	0,6811	0,01	2,67
	OPE [°C]	1,447	0,7095	-0,04	2,56

Tabulka 8 Výsledky vzájemného porovnání mezi skladbami A a B

Při vzájemném srovnání skladeb A a B mezi sebou je možné si povšimnout rozdílů již při nízkých solárních ziscích. V zimních měsících, kdy teplota exteriéru vykazuje nízkých hodnot, dochází k akumulaci tepelné energie v hmotné skladbě. To vede k úspoře energie v zimních měsících. Současně je patrné, že hmotný plášť střechy reprezentovaný skladbou A také relativně efektivně brání růstu teplot při letních měsících. Současně při stálých vyšších teplotách dochází v průběhu letních dní k akumulaci a plášť do sebe začíná absorbovat nežádoucí tepelné zisky.

Rozdíly jsou daleko více patrné zejména při vysokých solárních ziscích, kdy opět velmi efektivně dostáváme vyšší teploty v téměř všech zimních i přechodových měsících, což vede k razantnímu snížení energie, která je potřeba k vytápění objektu. Energie ve všech podobách je lépe akumulována ve skladbě, stejně jako případné solární zisky. Tato výhoda je však vykoupena nezanedbatelným nárůstem teploty v interiéru v letních měsících, které v některých případech

přesahují několik stupňů Celsia. Z průměrných odchylek je patrné, že pokud se bavíme o celoročním použití hmotných skladeb a využití akumulčních vlastností, je vhodné tyto střechy orientovat na osluněné strany a řešit nárůst teplot například stíněním otvorů v nich nebo jinou koncepcí. Fakt je dále patrné také z následující kapitoly.

E.3.2 Výsledky vlastního srovnání skladby A a B při NSZ a VSZ

V návaznosti na předcházející kapitolu byla provedena analýza jednotlivých skladeb A a B nikoliv mezi sebou, ale při stejné kompozici s rozdílnými solárními zisky, aby bylo možné vyhodnotit vliv solárních zisků jako takových. Hodnoty z tabulek předcházející kapitoly *E.2 Výsledky základní simulace* tentokrát reprezentují stejnou skladbu a při jiném solárním zisku jsou od sebe odečteny a porovnány viz **Tabulka 9** a **Tabulka 10**.

Skladba	[°C]	Průměrné teploty během 1/10 roku									
Skladba A (VSZ-NSZ)	VZD	0,43	3,11	1,67	2,19	1,6	1,59	2,34	0,8	0,99	0,02
	RAD	0,93	3,64	1,92	2,99	1,7	1,73	2,61	0,92	1,33	0,03
	OPE	0,68	3,38	1,79	2,87	1,64	1,67	2,47	0,86	1,16	0,02
Skladba B (VSZ-NSZ)	VZD	0,75	1,87	0,44	0,12	-0,88	-0,29	0,16	-0,21	0,39	0,2
	RAD	0,85	2,11	0,51	0,28	-0,96	-0,35	0,24	-0,17	0,45	0,11
	OPE	0,8	1,99	0,48	0,19	-0,92	-0,32	0,2	-0,19	0,42	0,15

Tabulka 9 Vlastní porovnání skladeb A a B při různých solárních ziscích

Skladba		Průměr	Průměr. odchylka	Minimum	Maximum
Skladba A (Vysoké - nízké zisky)	VZD [°C]	1,474	0,6647	0,02	3,11
	RAD [°C]	1,780	0,7346	0,03	3,64
	OPE [°C]	1,654	0,7109	0,02	3,38
Skladba B (Vysoké - nízké zisky)	VZD [°C]	0,255	0,4418	-0,88	1,87
	RAD [°C]	0,307	0,4895	-0,96	2,11
	OPE [°C]	0,280	0,4673	-0,92	1,99

Tabulka 10 Výsledky vlastního porovnání skladeb A a B při různých solárních ziscích

Při vlastním srovnání skladeb s různými intenzitami solárních zisků je možné si povšimnout potenciálu akumulace, který je tentokrát více patrný. V zimních měsících je nasnadě vidět obrovskou výhodu hmotné skladby A, která vykazuje i o několik stupňů Celsia vyšší teploty, než je tomu u lehčí skladby B. Dochází v celé skladbě k velkému potenciálu úspory energie, která je možná jak v zimních, tak v přechodných měsících, zejména při vhodné orientaci vůči osluněným světovým stranám. Orientace je dle srovnání naprosto kritická.

V letních měsících se ale tato přednost skladby A stává nevýhodou, která vede prostřednictvím akumulace k velmi výraznému nárůstu teplot, který je, jak je patrné viz **Tabulka 10**, doprovázen značnými výkyvy, které vedou k velmi výraznému přehřátí vnitřních prostor. To vede naopak v nutnosti vydat více energie na ochlazení. Naopak skladba B je díky své rozlišené akumulaci k relativně obdobnému průběhu jak při nízkých, tak při vysokých solárních ziscích. Je vysoce pravděpodobné, že lehčí skladba B je jak v létě, tak v zimě, zatížena více změnami teplot a fluktuace průběhu teplot dosahuje v interiéru a dalších předmětných vrstvách skladby vyšších odchylek jak ve směru růstu, tak poklesu, v mnohem kratším čase.

Závěrem podkapitoly je potvrzení hypotéz kapitoly *B.7 Sestavení hypotéz* ve všech zněních a částečné dosažení odpovědi na cíl 3 ohledně natočení objektu vůči světovým stranám za cílem ovlivnění solárních zisků.

Hmotné pláště šikmých střech vyvozují s vysokou pravděpodobností na základě této základní simulace jak velmi pozitivní vlivy na vnitřní prostředí, tak bohužel i vlivy negativní, z čehož míra tohoto vlivu, pokud neuvažujeme jinou koncepci vnitřního prostředí, či zejména jiný

způsob větrání a stínění, je dána přímo solárními zisky plynoucími z vhodného natočení objektu a dále v přeneseném významu také koncepcí stínění. Současně je vhodné si povšimnout, že z hlediska akumulace tepla v interiéru a z něho plynoucí tepelné stability vnitřního prostředí není významný součinitel prostupu tepla U , kdy z časového hlediska je rozhodující spíše měrná c , potažmo objemová tepelná kapacita κ .

Na základě základní simulace je tedy nutné zjistit pomocí vytyčených cílů, které se ukázaly jako vhodně zvolené, přesné chování hmotné skladby šikmého střešního pláště.

E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací

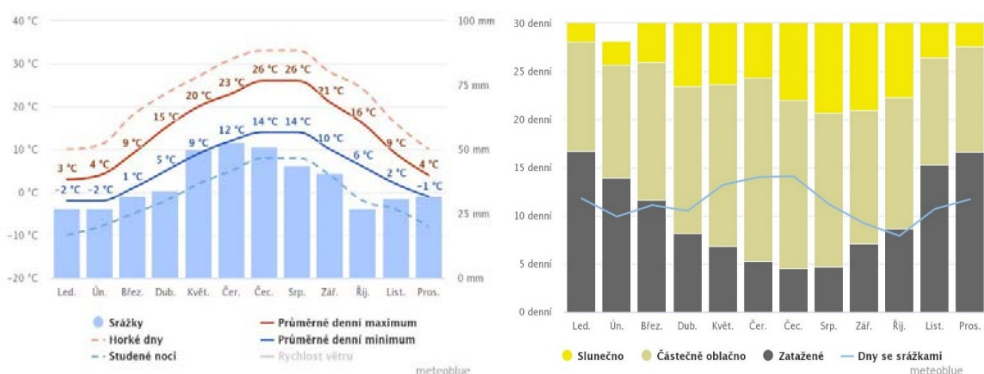
Kapitolou *D.2 Metodika experimentálního sběru dat a měření*, *D.3 Metodika simulace* a následně kapitoly *E.3 Analýza výsledků základní simulace*, kde byla potvrzena důležitost dalšího výzkumu a průzkumu zejména chování samotné skladby, bylo sestaveno zmíněné experimentální měření, jehož rozsah je dán v kapitole *D.2.1 Cíl experimentálního měření*.

Aby bylo možné objektivně zhodnotit chování skladby, budou posouzena data ČHMÚ tak, že bude zvoleno několik kritických období. Uvažujeme se zobrazením průběhu hustoty tepelného toku, teplot a vlhkostí v rámci přechodového období, dále v rámci nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce. Pro rozeznání případné nuance, průběhů a dalších výkyvů v průběhu jednotlivých sledovaných veličin, bude z těchto měsíců vybrán vždy jeden kritický týden, na kterém bude možno lépe sledovat například vliv měrné tepelné kapacity. Následně bude vybrán nejteplejší a nejchladnější den, na kterém bude možné pozorovat další vlivy hmotných plášťů. Pro komplexní obraz bude v další kapitole zahrnuto také celoroční teplotní shrnutí včetně histogramů.

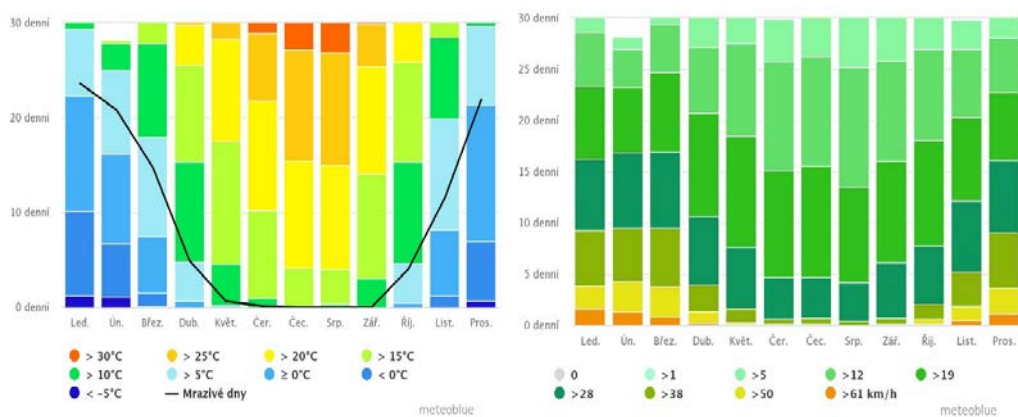
Co se týče výběru sledovaných parametrů, budou vyselektovány průběhy teplot a vlhkostí ve všech vrstvách, kdy bude využito softwaru WUFI Pro 6.5 a experimentálně naměřených dat.

E.4.1 Výběr kritických časových úseků pomocí dat stanice B2POHO01

Aby bylo možno vyselektovat časový horizont pro nejteplejší a nejchladnější dny, byly využity poznatky a informace o počasí společností ČHMÚ za posledních 10 let a Meteoblue za posledních 30 let. Výsledky jsou reprezentovány sérií grafů viz **Graf 4–Graf 6**. Tato data jsou vztažena ke stanici B2POHO01.



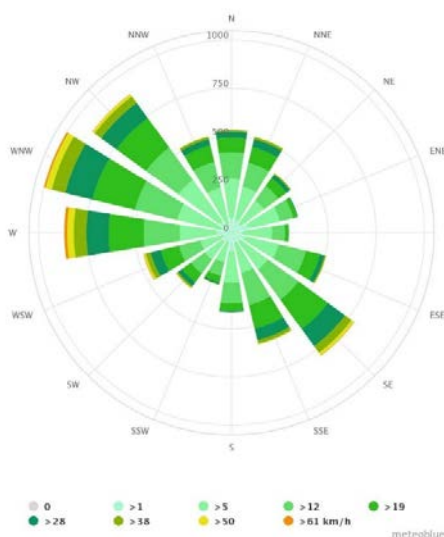
Graf 4, 5 Průměrné teploty, srážky a sluneční záření v předmětné oblasti [121]



Graf 6, 7 Denní teploty a rychlost větru během jednotlivých měsíců [121]

Z grafů viz **Graf 4** a **Graf 6** je patrné, že nejchladnější měsíc je **leden**, který se vyznačuje největším počtem chladných dnů a současně nejnižšími teplotami. Tento měsíc je dále charakteristický velmi nízkými solárními zisky viz **Graf 4**, které jsou doplněny vysokou rychlostí větru viz **Graf 6**. Měsíc souhlasí také s hodnotami ČHMU, kdy je průměrná teplota za období 2010 až 2019 v lednu stanovena na $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Závěr je v korespondenci s analýzou veškerých dat.

Z grafů je problematické vyčíst, který měsíc bude nejteplejší. Pokud nahlédneme do historických dat ČHMU [122], zjistíme, že porovnáním historických dat za roky 2010 až 2019 vyplývá pro jihomoravský kraj nejteplejší měsíc červenec s průměrnou teplotou $18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pokud dále zohledníme grafy viz **Graf 4** a **Graf 6** zjistíme, že za nejteplejší měsíc lze naopak zařadit srpen. Vzhledem k cílům práce byly dále zohledněny další parametry, mezi které patří solární zisky viz **Graf 4**, v našem případě reprezentované počtem slunečních dní, a také potenciální ochlazení konstrukce reprezentované rychlostí větru, která se viz **Graf 6** a **Graf 8** může stát vzhledem k expozici teplosměnné plochy problematickou. Jako kritický letní měsíc byly tedy zvoleny pro co nejlepší pochopení zvoleny oba měsíce, tedy **červenec** a **srpen**.

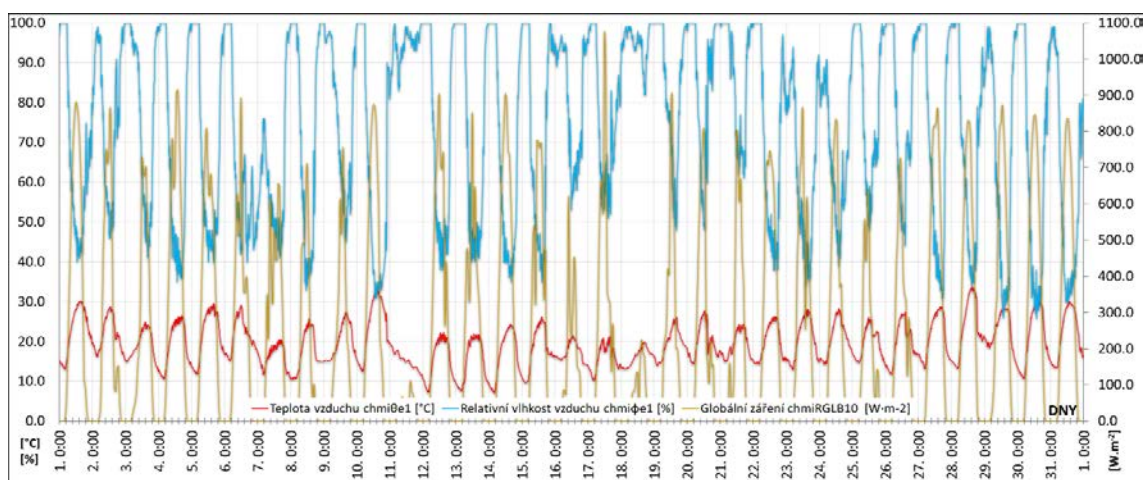


Graf 8 Směr a rychlost větru předmětné lokality vyjádřený větrnou růžicí [121]

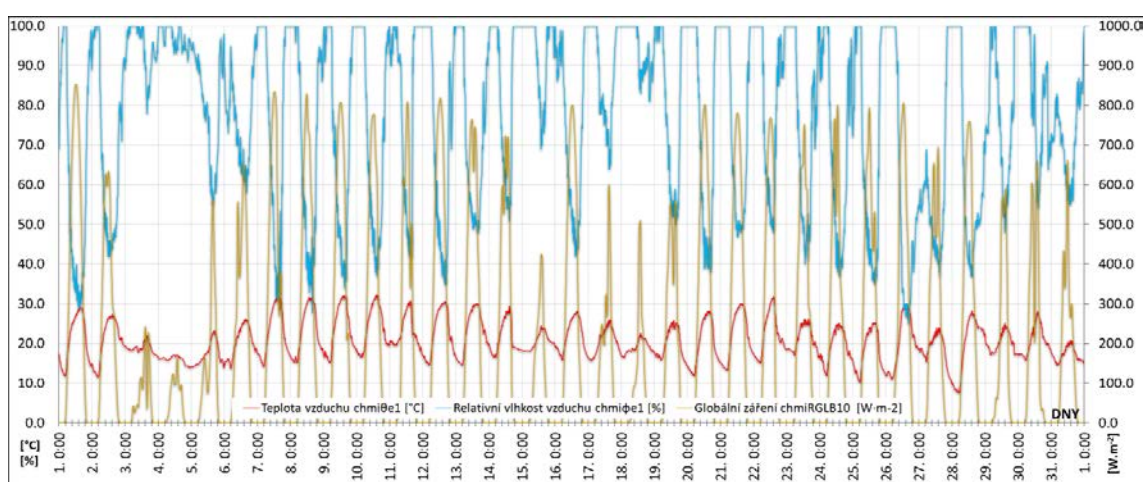
Následně byly z dat získaných stanicí B2POHO01 sestaveny grafy viz **Graf 9**, **Graf 10** a **Graf 11**, které reprezentují experimentálně zaznamenané exteriérové okrajové podmínky v čase viz kapitola *D.2.5 Časový horizont experimentálního měření*.



Graf 9 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc leden [32]



Graf 10 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc červenec [32]



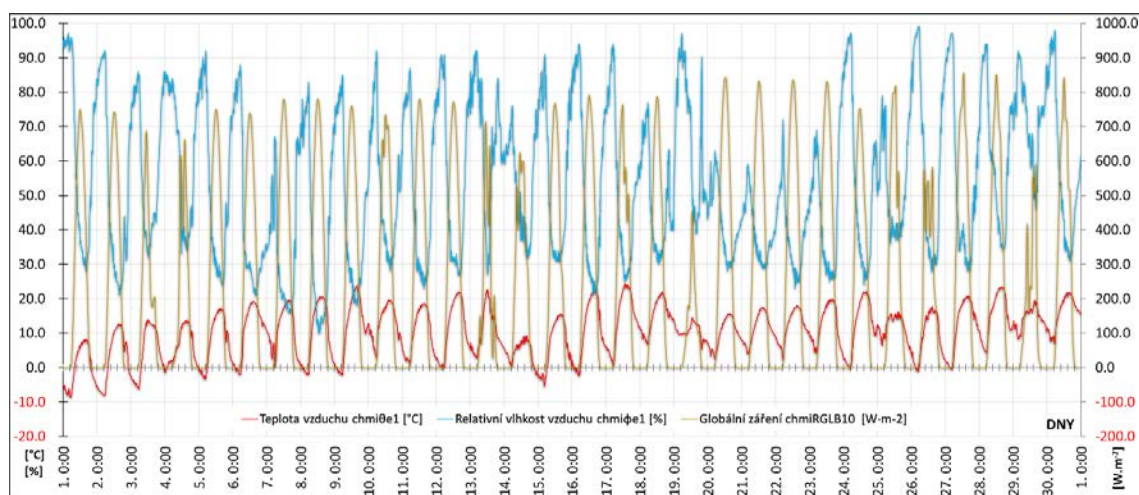
Graf 11 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc srpen [32]

Z průběhů jednotlivých měsíců je patrné, že se jedná o celkem standardní průběhy teplot θ_e a vlhkostí φ_e , které jsou v obou případech téměř bez jakéhokoliv extrémního výkyvu, který by zkresloval při použití výsledky. Z grafů je možné zjistit kritické týdny, které budou řešeny do větší podrobnosti. Jedná se o data 11.01 až 18.01, 22.07 až 29.07 a 7.08 až 14.08, které se dle grafů jeví jako nejvíce kritické. Během těchto časových úseků vykazují teploty buď stálý pokles, nebo nárůst a vytváří tak optimální prostředí, ve kterém budou patrné akumulací vlastnosti.

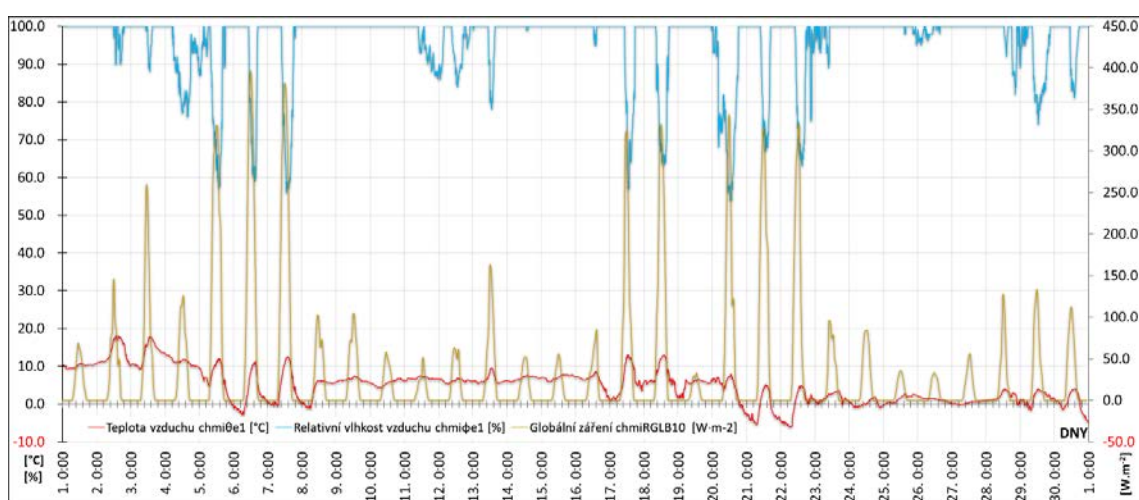
Z dat, které byly nasbírány stanicí, je možné zjistit kritické dny, pro které bude proveden nejpodrobnější průzkum. Jedná se o data 12.02 a 28.07, která se vyznačují největšími minimálními a maximálními teplotami.

Z důvodů hlubšího pochopení chování konstrukce bylo měření a jej doprovázející simulace rozšířeno také na tzv. přechodové měsíce, tedy měsíce, které se vyznačují značnými tepelnými rozdíly a výkyvy teplot. Hledáme tak měsíce, které se vyznačují maximy a minimy teplot. Současně je nutné zohlednit také fakt akumulace teplot. Za tímto účelem budou vybrány měsíce jarního a podzimního období.

Po analýze dat ze stanice vycházejí jako přechodové měsíce **duben** a **listopad**. Průměrná teplota exteriéru měsíce dubna je 10,2 °C, minimální teplota -8,7 °C, maximální teplota 24 °C s odchylkou 6,02 °C. Průměrná teplota měsíce listopadu je poté 4,9 °C, minimální teplota -6,2 °C, maximální teplota 24,4 °C s odchylkou 3,62 °C. Jednotlivé průběhy jsou patrné viz **Graf 12** a **Graf 13**.



Graf 12 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc duben [32]



Graf 13 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc listopad [32]

Vzhledem k relativní četnosti teplotních výkyvů byly za kritické týdny, kterým bude věnována větší pozornost, zvoleny dat 01.04 až 07.04 a 18.11 až 25.11. S ohledem na vyjádření vlastností nebyly vybrány kritické dny, kterým by byla věnována vyšší pozornost.

E.4.2 Kompilace simulačního modelu

Výsledný model sestavený v programu WUFI Pro 6.5 má výše uvedené okrajové podmínky. Aby bylo možné přesně pochopit problematiku, bylo simulováno celé roční období, po které byl současně experimentálně zajištěn sběr dat. Jedná se tak o datum od 01.04.2020 do 31.03.2021. Parametry vnějšího prostředí byly dodány v 10minutových intervalech. Data byla upravena, očištěna od imperfekcí, časově díky zimnímu a letnímu času posunuta na správnou hodnotu a následně vložena do prostředí programu.

Pro zajištění co možná největší přesnosti byly vyzkoušeny různé sady dat, kterými je možné popsat exteriér. Celkem šlo o čtyři typy modelů, které se lišily v použité teplotě, vlhkosti a bilanci globálního záření. Jako nejlepší byl tedy vybrán model, který je kompilován z globálního záření $chmiRGLB_{10}$, exteriérové teploty vzduchu $chmi\theta_{e1}$ a exteriérové relativní vlhkosti vzduchu $chmi\varphi_{e1}$.

E. ZÁKLADNÍ SIMULACE A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Pro sestavení samotné konstrukce bylo využito poznatků poskytovatele softwaru a jejich oficiální příručky [123], od které výsledný model mírně diverguje, aby dokázal postihnout problematiku celého systému. Výsledná skladba má tak následující podobu viz **Tabulka 11**.

Č.	Název	Objemová	Porozita	Měrná tep.	Tepelná	Faktor	Zabud.	Tloušťka
		hmotnost		Kapacita	vodivost	dif.	vlhkost	
		ρ [kg·m ⁻³]	n_x [-]	c [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	μ [-]	[kg·m ⁻³]	d [m]
1	Sádrová omítka	850	0,65	850	0,2	8,3	400	0,007
2	Pórobeton ^a	817	0,72	1004	0,355	10	200	0,2
3	EPS s grafitem	17	0,95	1270	0,035	30	0,17	0,3
4	Vzduchová vrstva slabě větraná	1,3	0,999	1000	0,18	0,46	-	0,03
5	DHV ^c	150	0,001	2300	2,3	55	-	0,001
6	Větraná vzduchová vrstva + laťování ^d	1,3	0,999	1000	0,28	0,32	-	0,04
7	Krytina betonová ^e	2200	0,18	850	1,6	92	110,71	0,02

Pozn.

- ^a Výpočet nestejnorodé vrstvy dle ČSN EN ISO 6946 [124].
^b Výměna vzduchu ve vrstvě nastavena po sérii experimentů na 20 h⁻¹.
^c Zohlednění chování konstrukce pomocí vnesení imperfekce do modelu pronikáním vzduchu a průvzdušnosti/vzduchotěsnosti dle DIN 4108-7-11 [125], [126] třídy 3 s výškou sloupce 5 m.
^d Výměna vzduchu ve vrstvě nastavena po sérii experimentů na 80 h⁻¹.
^e Zohlednění chování konstrukce pomocí vnesení imperfekce do modelu pronikáním vzduchu vzduchové těsnosti třídy A s výškou sloupce 5 m.
+ Tepelný odpor R_{se} byl stanoven hodnotou 0,0526 m²·K·W⁻¹.
Tepelný odpor R_{si} byl stanoven hodnotou 0,125 m²·K·W⁻¹.
Byla zohledněna absorpce krátkovlnného záření a krátkovlnná odrazivost okolního terénu.

Součinitel prostupu tepla U předmětné zkoumané skladby	0,103	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Celková objemová tepelná kapacita κ	3 781 958	[J·K ⁻¹ ·m ⁻³]
Plošná tepelná kapacita c_A	213 437,1	[J·K ⁻¹ ·m ⁻²]
Plošná hmotnost ρ_s	218,704	[kg·m ⁻²]

Tabulka 11 Tabulka parametrů konstrukce modelu [32]

Jak je patrné z parametrů, bylo nutné zohlednit nejen všechny vrstvy včetně krytiny, což není zvykem při klasickém výpočtu dle norem ČSN 73 0540-2 [2], ČSN EN ISO 6946 [124] a ČSN 73 0540-4 [8]. Současně bylo nutné zohlednit také imperfekce materiálu a provětrávání vrstev z hlediska transportu vlhkosti, který se stal při kompilaci a kalibraci modelu klíčovým.

Bohužel však nebylo možné efektivně zohlednit ve výpočtu další působící okrajové podmínky, mezi které patří například proměnlivá rychlost $chmiV_a$ a směr větru $chmiD$, které vedou k dalšímu ochlazení nebo zahřátí konstrukce, stejně jako nebylo možné přesně simulovat proudění vzduchu v jednotlivých vzduchových vrstvách. Tyto idealizace jsou zohledněny v tepelném odporu na jednotlivých vrstvách a parametrech viz **Tabulka 11**. Aby bylo možno popsat podobnost simulace a skutečnosti, byly průběhy v jednotlivých zkoumaných vrstvách porovnány pomocí integrace jejich průběhu a následně přes výsledné plochy porovnávány viz **Tabulka 12**, kdy byly analyzovány jak zkoumané měsíce, tak celý rok.

Podobnost průběhu teplot [%]	Časový úsek					Rok
	Leden	Duben	Červenec	Srpen	Listopad	
Průběh na DHV [%]	97,98	98,73	99,75	97,37	86,45	96,76
Průběh na izolantu [%]	96,68	96,82	99,80	97,33	88,50	95,85
Průběh na izolantu/nosné kci [%]	95,76	99,63	98,73	99,02	94,27	96,64
Průběh na nosné kci/omítce [%]	95,13	97,31	99,89	99,80	98,01	98,12
Průměrná podobnost [%]	96,39	98,12	99,54	98,38	91,81	96,84

Tabulka 12 Tabulka podobnosti simulace a experimentálního měření [32]

Simulace dosahuje z hlediska vzájemné podobnosti velmi vysoké přesnosti, zejména na nejdůležitějších místech a sice přechodech z nosné konstrukce směrem k tepelnému izolantu i vnitřní omítce. Pokud se dále zaměříme na letní měsíce červenec a srpen, dosahuje simulace téměř 99 % přesnosti. Nepřesnosti v letních a přechodných měsících, stejně jako zimních měsících, jsou způsobeny kombinací výše zmíněných idealizací. Pokud bychom chtěli dosáhnout vyšší přesnosti, bylo by nutné konstrukci modelovat jiným softwarem a metodou konečných prvků, kdy je nutné vytvořit samostatně model pro přenos tepla, ve kterém je zohledněno s daleko vyšší přesností záření ve všech podobách, tedy difuzní, přímé a odražené, rozdíl parciálních tlaků, rychlost a směr větru, provětrání vzduchových vrstev a mnoho dalších. Komplikované výsledky by bylo poté nutné použít pro výpočet vlhkostního toku. Výsledný model by byl velmi komplikovaný na kompilaci a vyžadoval by instalaci celé řady dalších čidel podél celé plochy střechy, které by monitorovaly rychlost proudění, změnu teploty a vlhkosti v ploše apod.

Výsledná přesnost viz **Tabulka 12** je uznána jako dostačující a model je využit pro analýzu tepelně-vlhkostního toku v jednotlivých vrstvách a jejich různých hloubkách. Zkoumanými vrstvami je rozhraní vnitřní omítky a nosné konstrukce, rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu, rozhraní tepelného izolantu a vzduchové mezery, DHV a VVV.

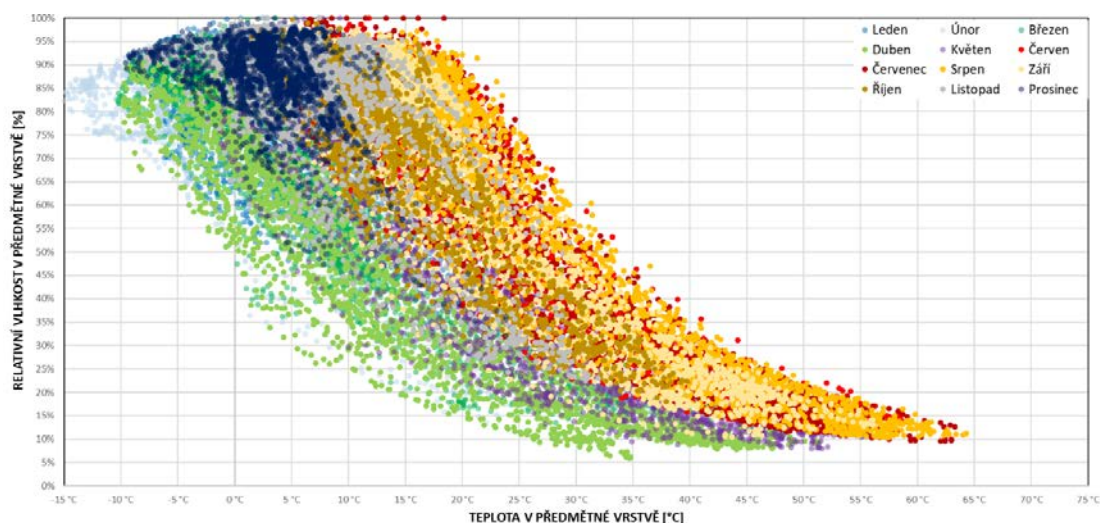
E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách

Průběhy teplot a relativní vlhkosti vztažené k objemové hmotnosti materiálů ρ daných vrstev viz **Tabulka 11** jsou vyjádřeny ve všech předmětných vrstvách a dále uvnitř části předmětných vrstev za pomoci izolinií. Ke každé vrstvě je vyobrazen po 10 minutách průběh teploty a vlhkosti viz **Graf 14–Graf 27**. **Graf 14** a **Graf 27** jsou vytvořeny z reálně naměřených dat.

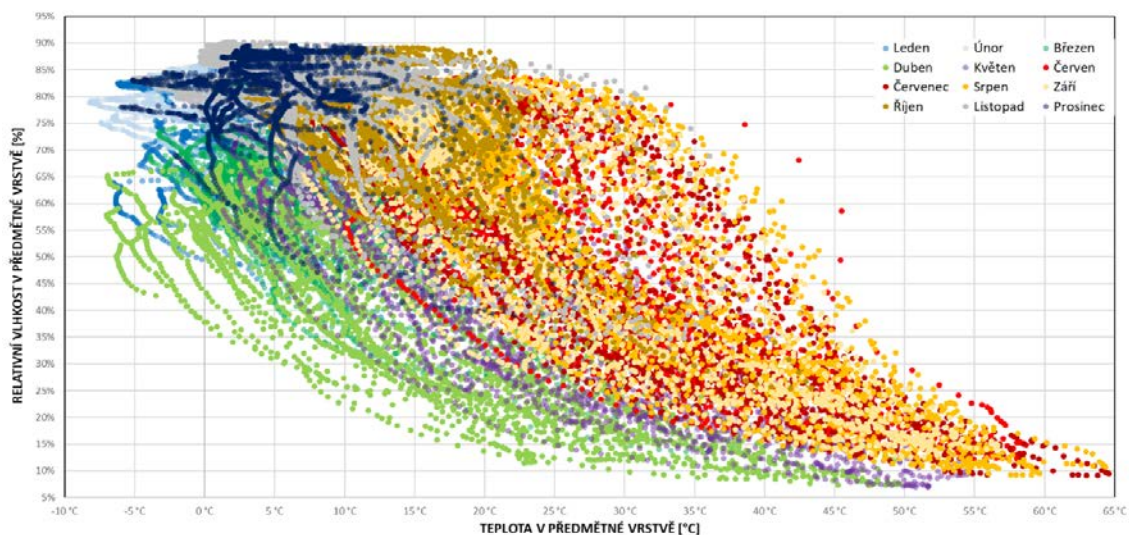
Pro pochopení mechanismu celé skladby jsou barevně vyjádřeny jednotlivé měsíce za účelem objektivního posouzení chování jednotlivých vrstev za různých ročních období. Výsledkem je tedy velmi podrobné zkoumání celé skladby na experimentálním objektu.

Pokud bychom využili jako proměnnou teplotu z experimentálního měření je velmi pravděpodobné, že výsledný graf by byl i přes obdobný průběh více chaotickým. Výsledná přesnost je však považována za dostatečnou viz kapitola *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*.

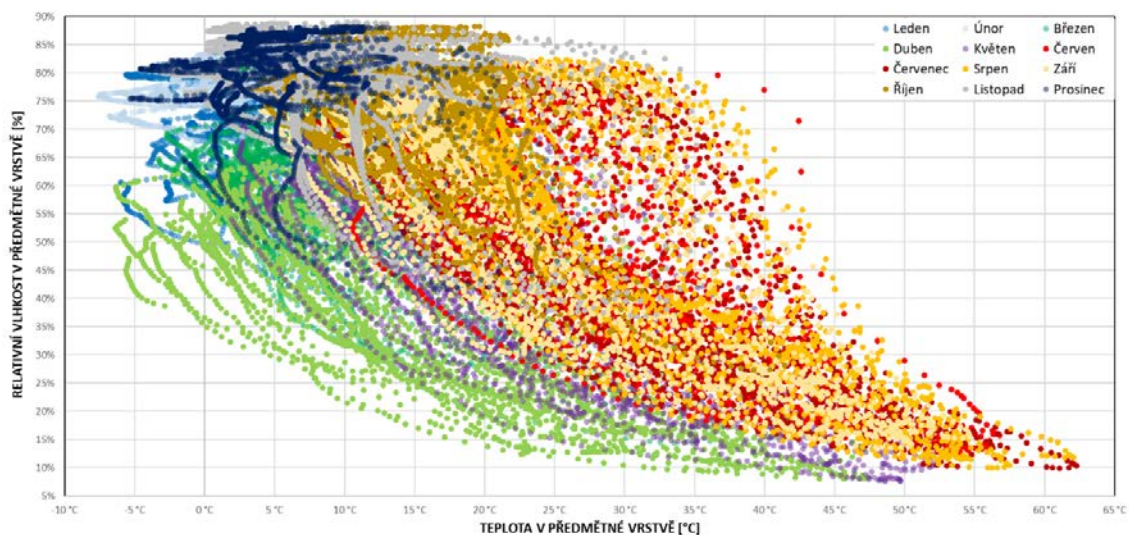
Před samotnou analýzou viz kapitola *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace* je nutné říct, že se díky užívání objektu nejedná v žádném případě o ustálené vnitřní prostředí. Fakt je dále umocněn zohledněním zabudované vlhkosti.



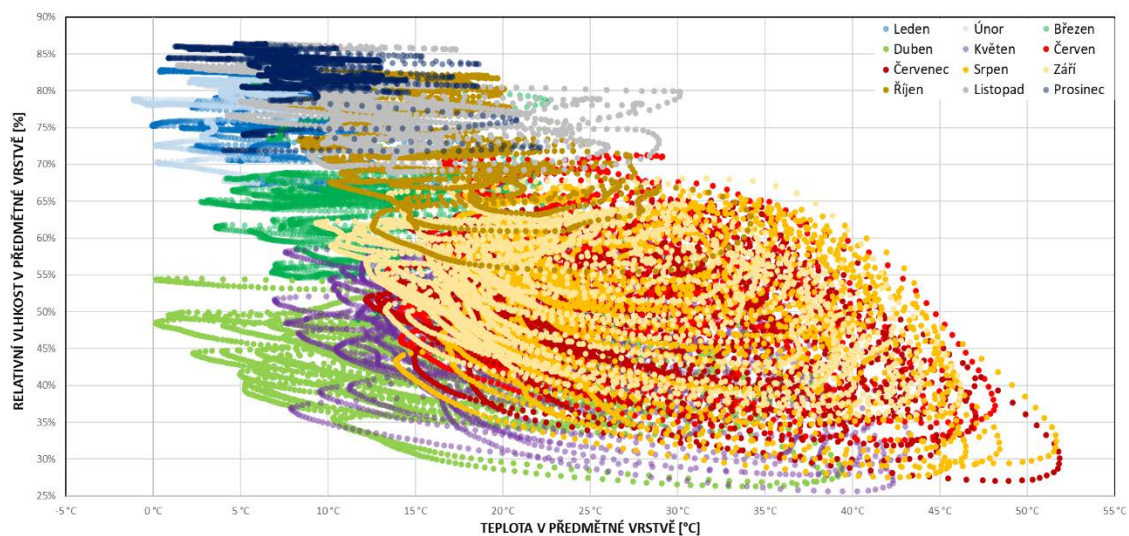
Graf 14 Izolinie teploty a vlhkosti ve VVV [32]



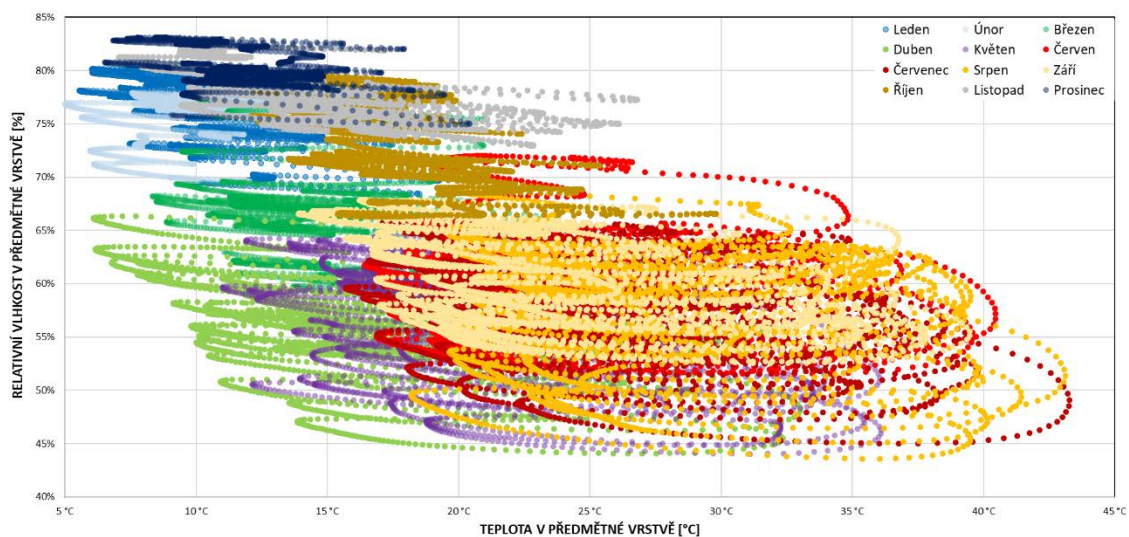
Graf 15 Izolinie teploty a vlhkosti na DHV [32]



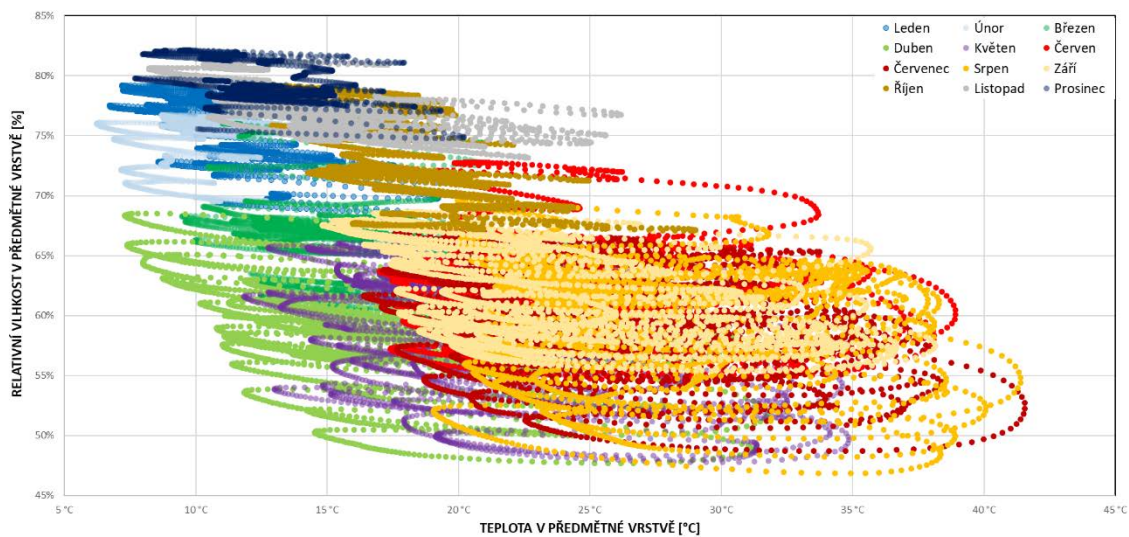
Graf 16 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a vzduchové mezery [32]



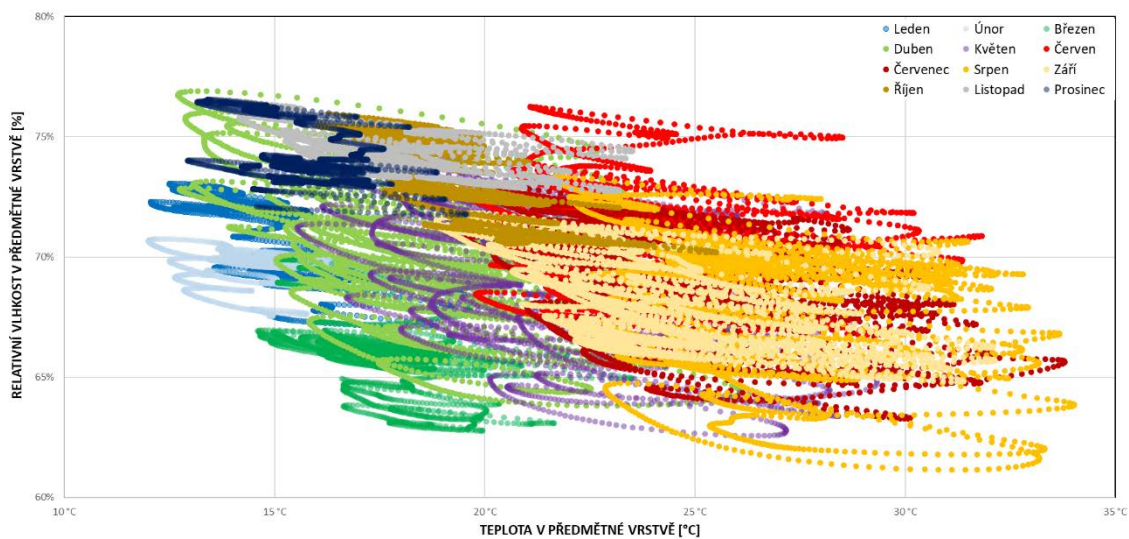
Graf 17 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,071 m [32]



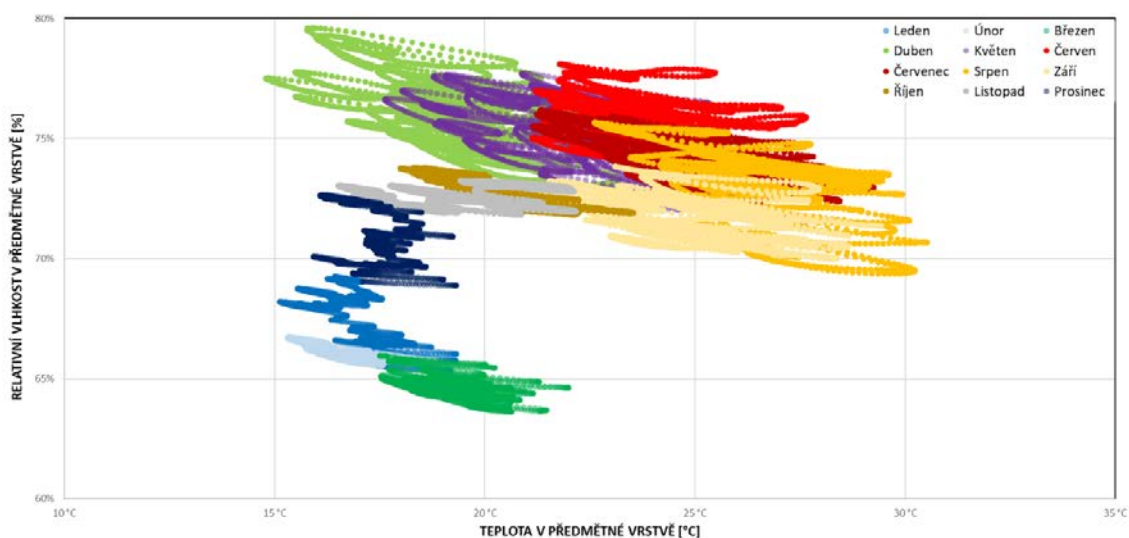
Graf 18 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,143 m [32]



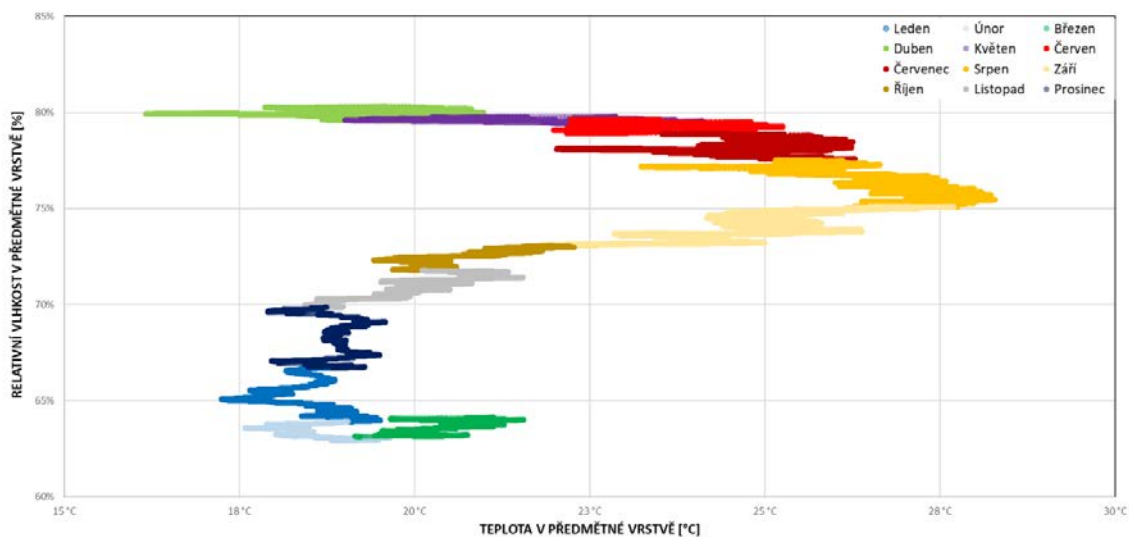
Graf 19 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,158 m [32]



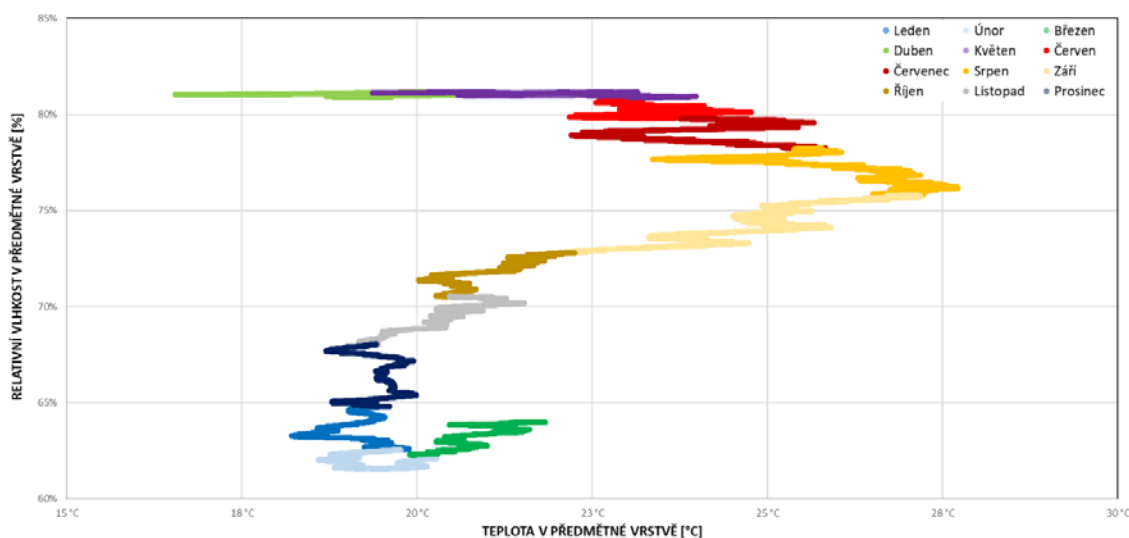
Graf 20 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,229 m [32]



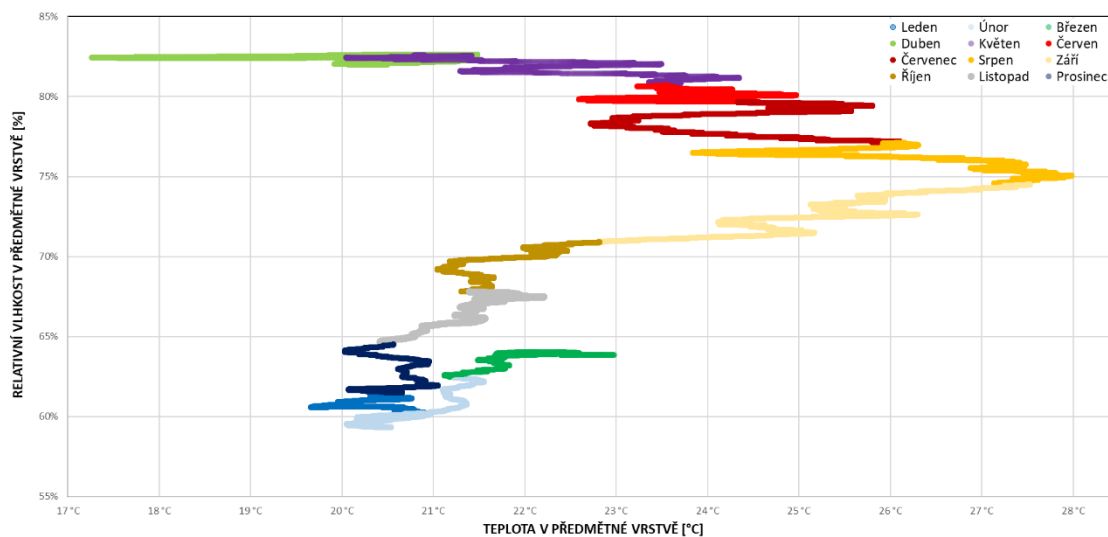
Graf 21 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,271 m [32]



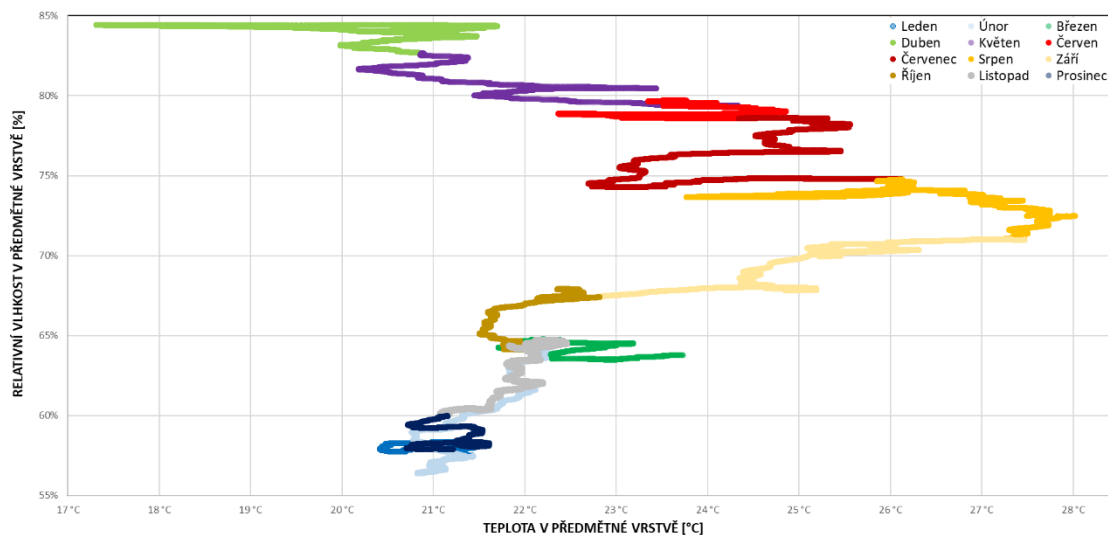
Graf 22 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]



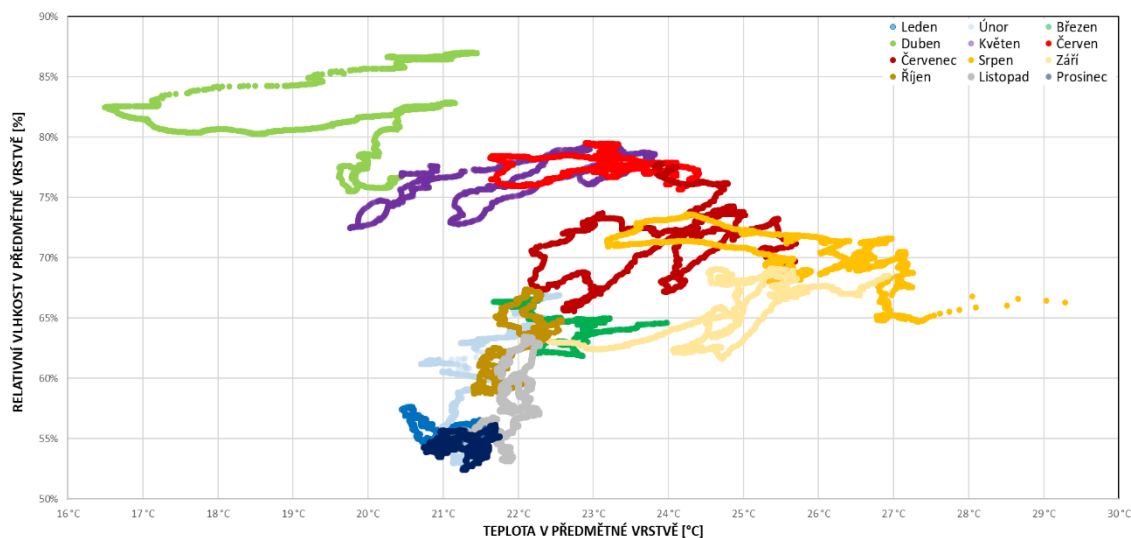
Graf 23 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,054 m [32]



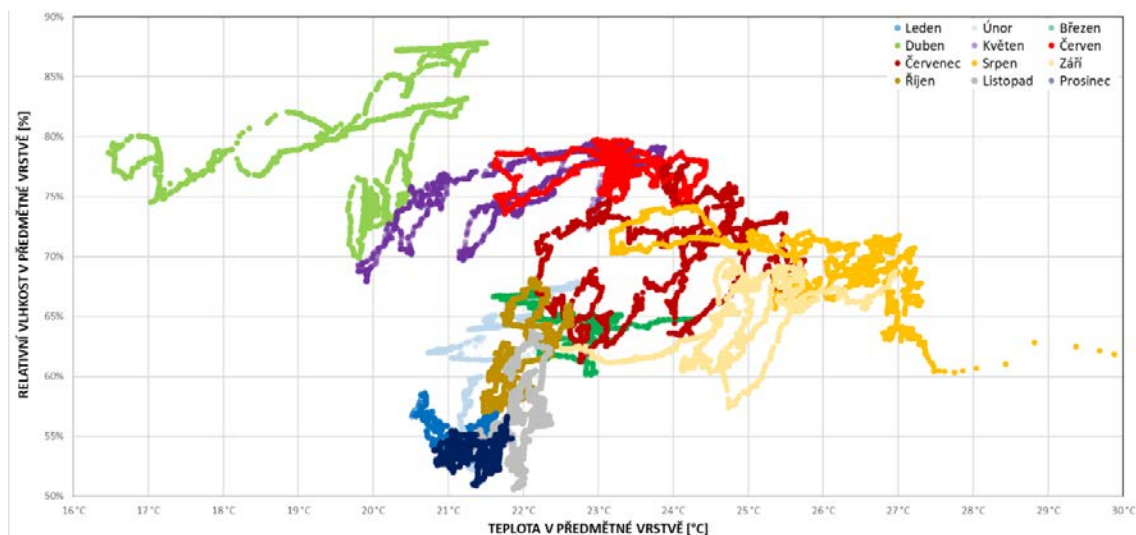
Graf 24 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]



Graf 25 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,156 m [32]



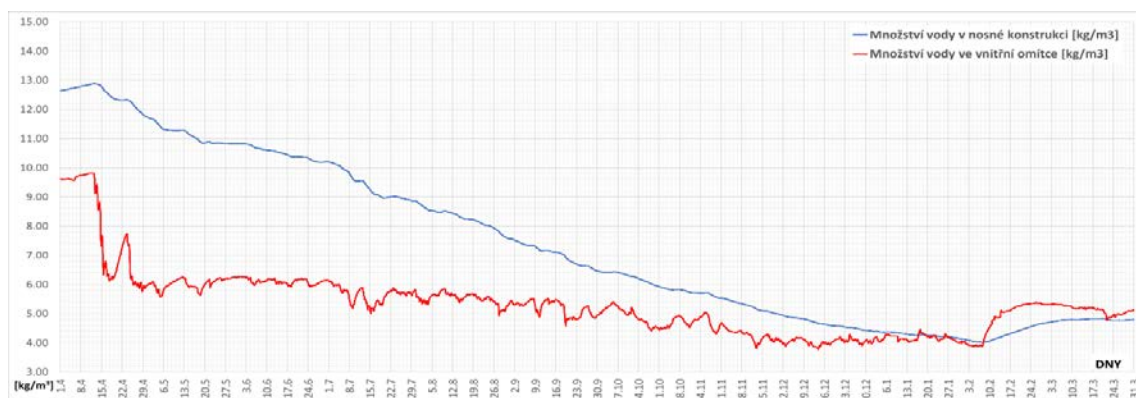
Graf 26 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]



Graf 27 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní omítky a vnitřního prostředí [32]

E.4.4 Roční průběh vlhkosti

Pro hlubší pochopení a poznání chování hmotného materiálu ve střešním plášti bylo monitorováno za pomoci výsledků simulace, vytvořené z reálných okrajových podmínek, množství vnesené a technologické vody v důležitých vrstvách a konstrukci jako celku. Průběh je monitorován od doby nastěhování investora. Je měřeno objemové množství vody v kg na m³ viz **Graf 28**, stejně jako plošné množství vody v kg na m² viz **Graf 29**.



Graf 28 Množství vody v jednotlivých vrstvách [32]



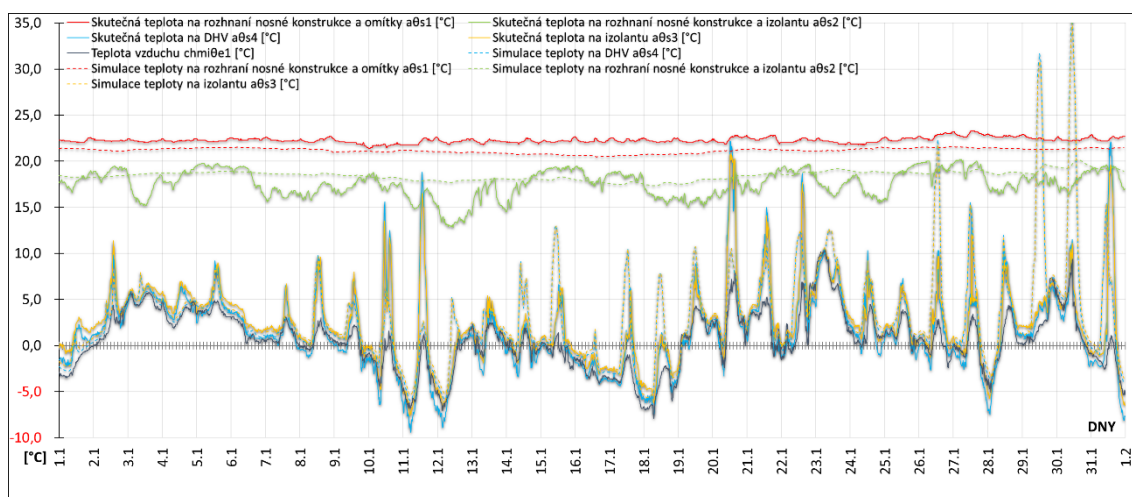
Graf 29 Celkové množství vody v konstrukci skladby [32]

E.4.5 Průběh teplot jednotlivých vrstev v zimním období

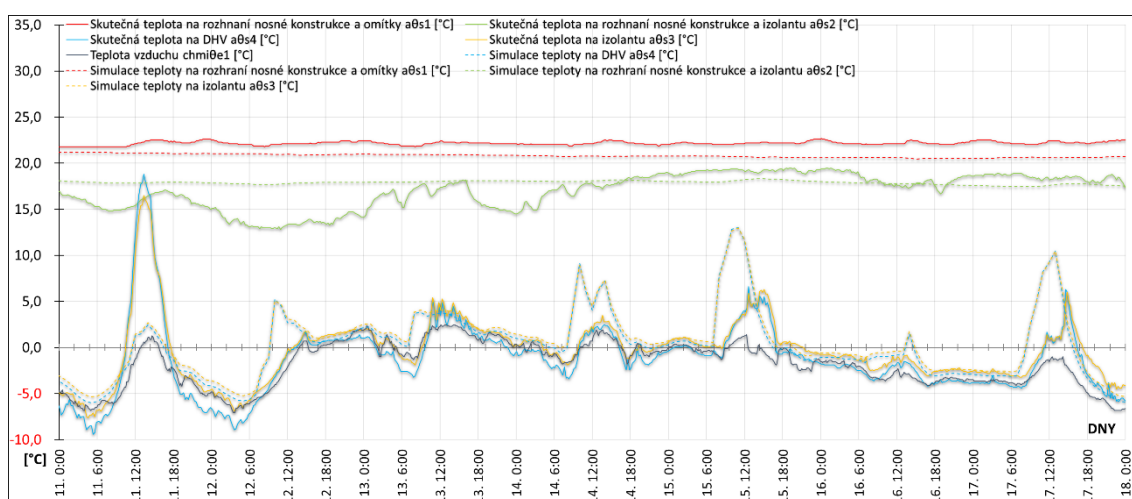
Vyjma ročního průběhu je dále zjišťován průběh v jednotlivých stanovených časových úsecích, konkrétně poté ve stanovených měsících, týdnech a dnech. Aby bylo možno pochopit přesnost simulace a současně lépe porozumět chování hmotného pláště, jsou kombinována data z experimentálního měření a simulace modelu.

Z průběhů viz **Graf 30** až **Graf 39** je patrná výše popsaná nepřesnost simulace viz kapitola *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*. Pokud však proložíme jednotlivé hodnoty pomocí analýzy dat spojnicemi trendu pochopíme, že ve skutečnosti je chování velmi podobné, pouze bez lokálních výkyvů. Spojnice nebyla pro přehlednost grafů implementována.

Kromě měsíčního průběhu je uveden také vybraný kritický týden, kdy z hlediska teplot dochází ve skladbě k zásadní změně teploty. Obdobné sestavení je použito jak pro zimní, letní i kritické/přechodové období. Vybrané grafy kapitol *E.4.2 Kompilace simulačního modelu* až *E.4.7 Průběh teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích* jsou pro lepší pochopení opětovně uvedeny viz **Příloha č. 3**.

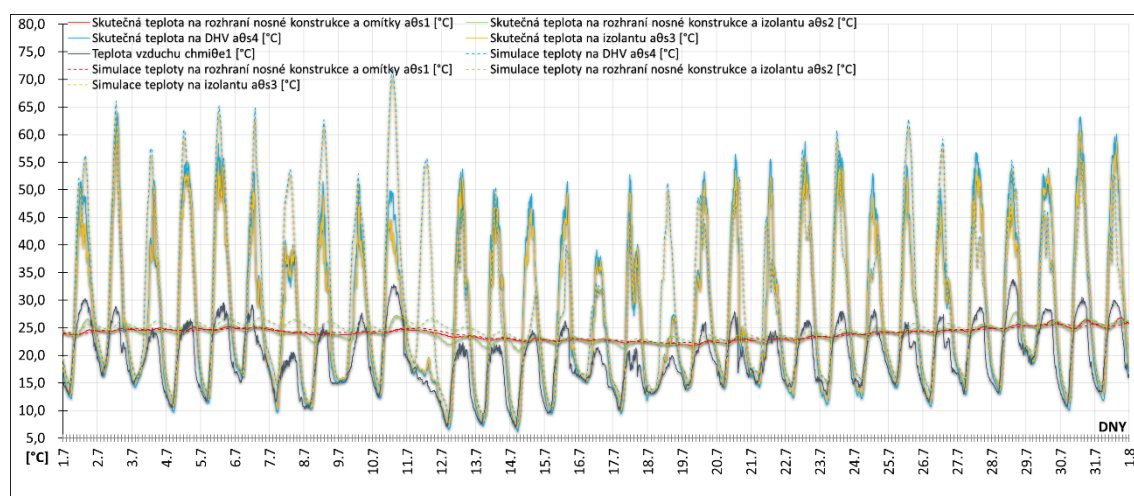


Graf 30 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc leden [32]

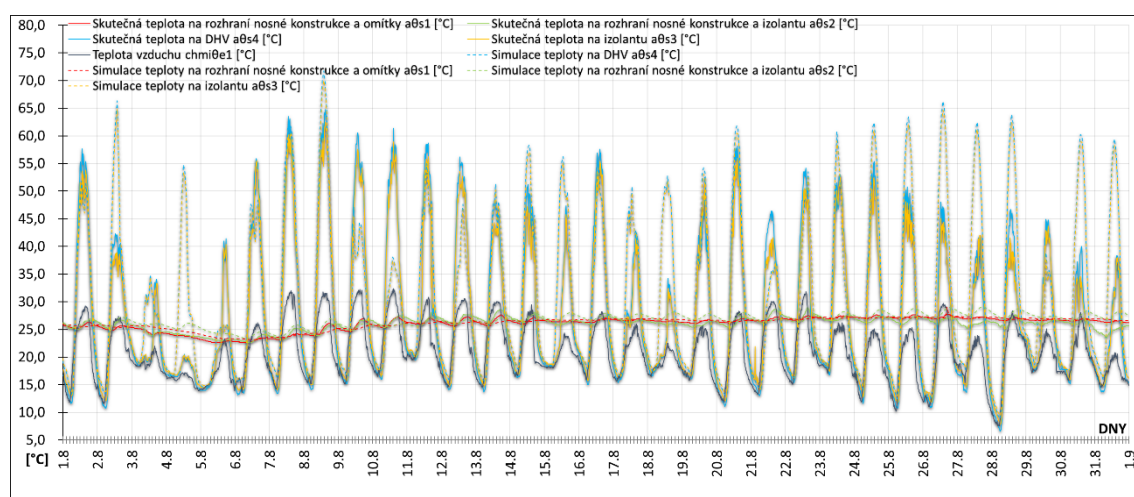


Graf 31 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 11.01. – 18.01. [32]

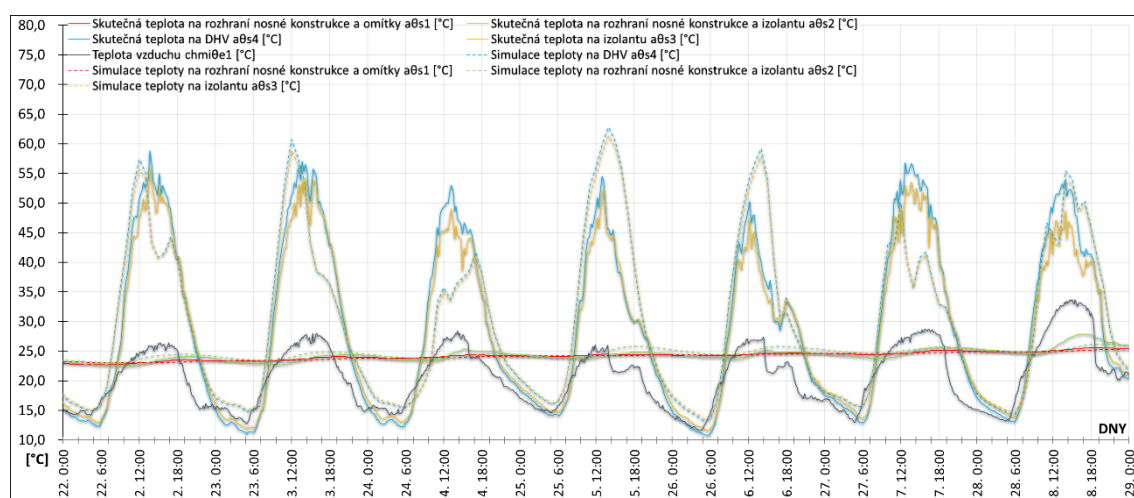
E.4.6 Průběh teplot jednotlivých vrstev v letním období



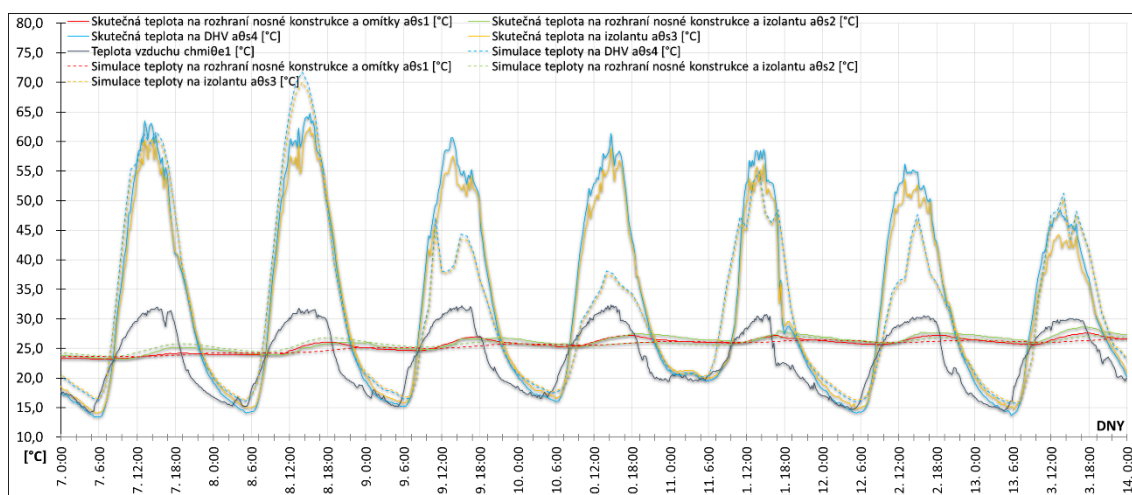
Graf 32 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc červenec [32]



Graf 33 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc srpen [32]

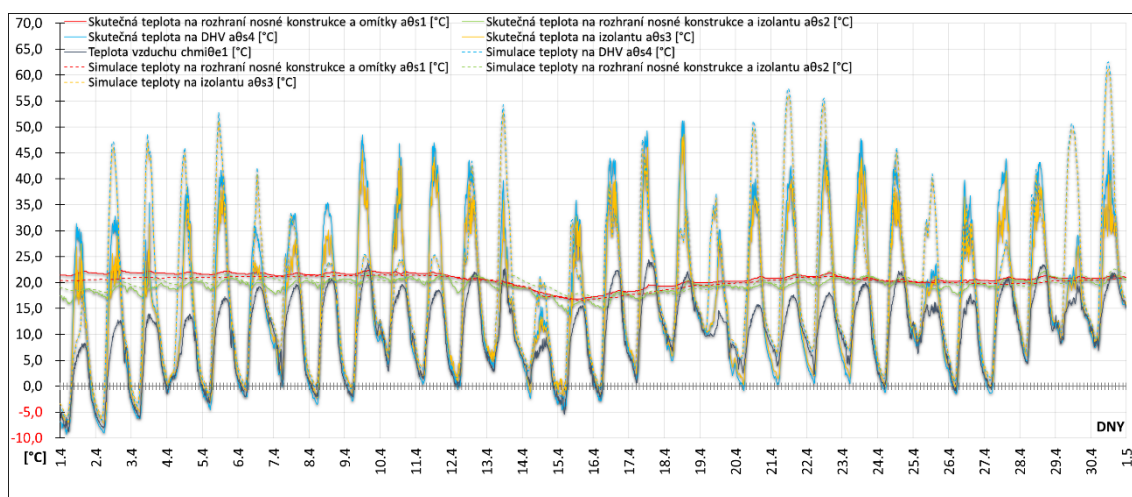


Graf 34 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 22.07. – 29.07. [32]

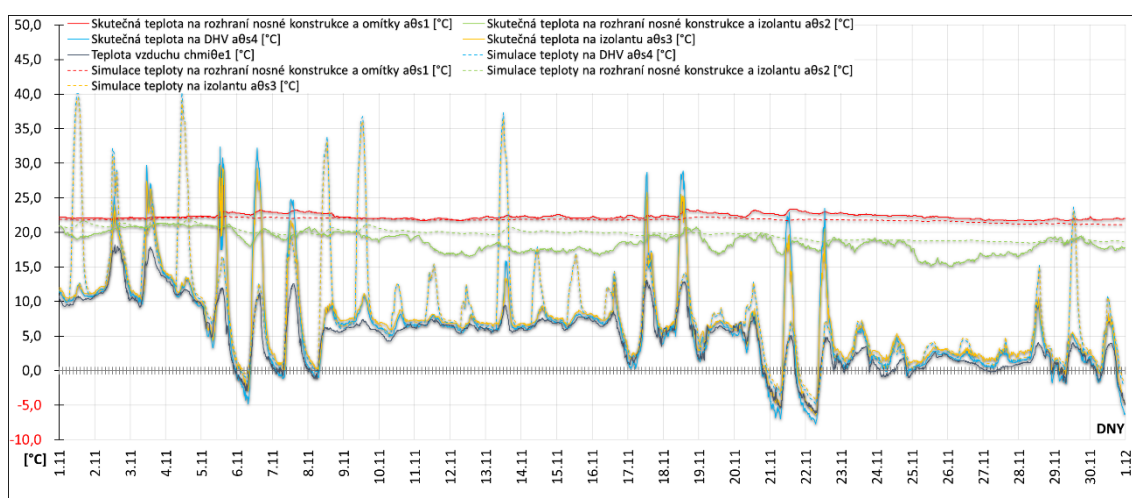


Graf 35 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 07.08. – 14.08. [32]

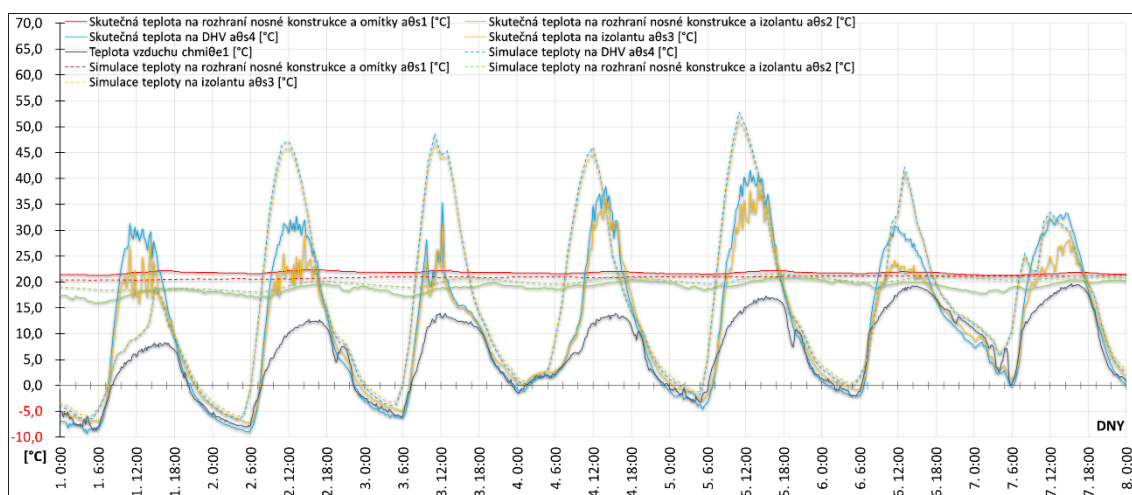
E.4.7 Průběh teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích



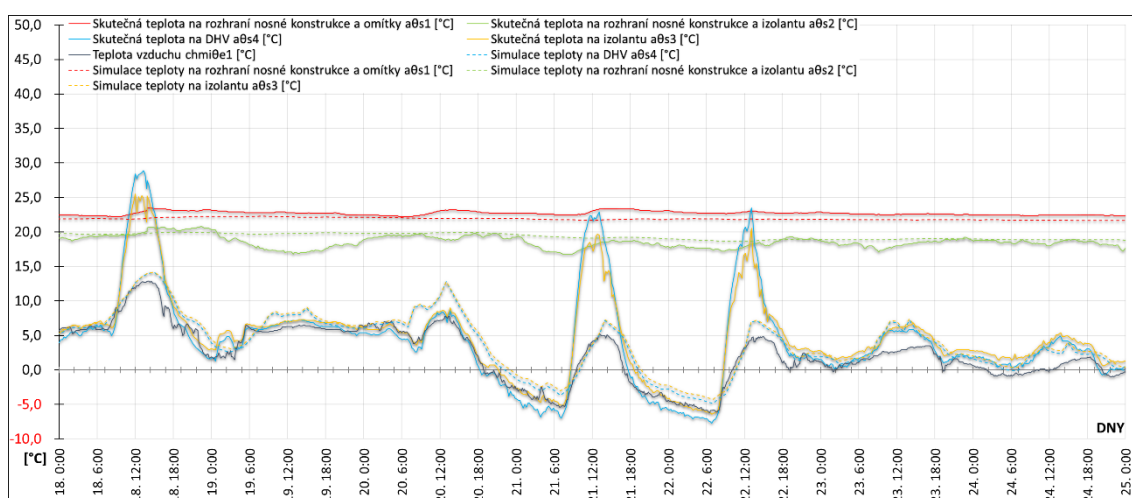
Graf 36 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc duben [32]



Graf 37 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc listopad [32]



Graf 38 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 01.04. – 08.04. [32]



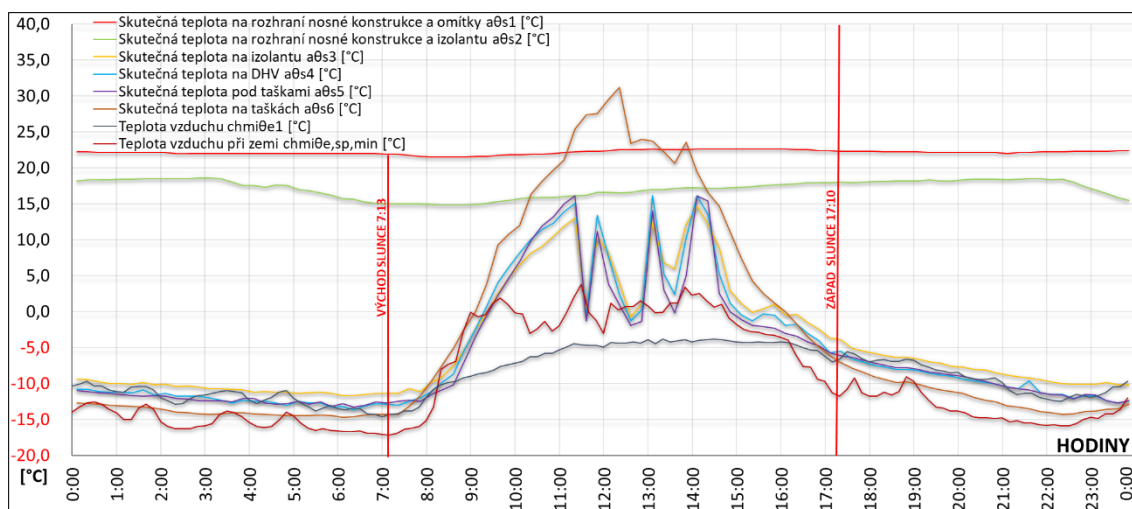
Graf 39 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 18.11. – 25.11. [32]

E.4.8 Shrnutí průběhů v jednotlivých měsíčních obdobích

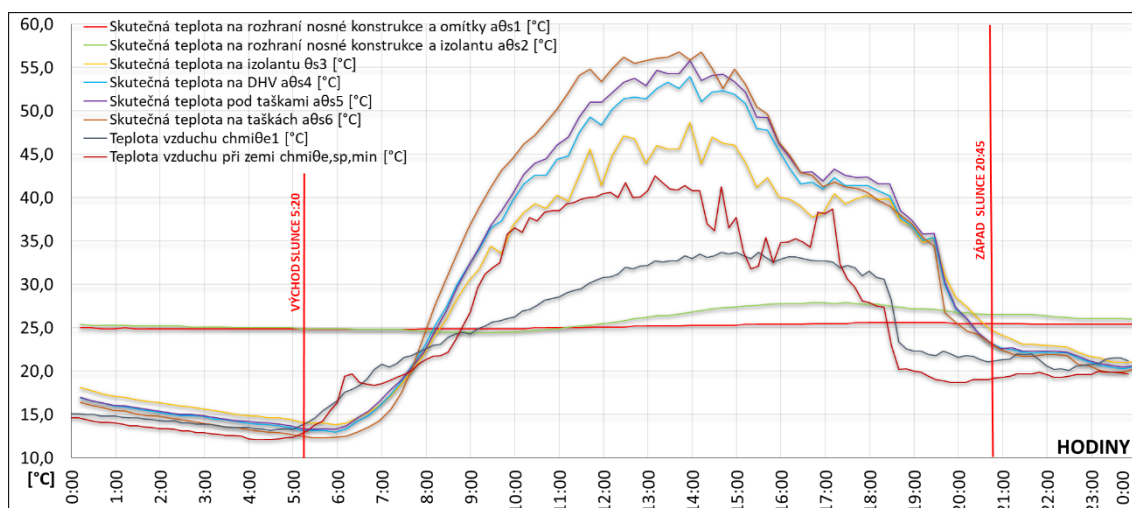
Z uvedených grafů je patrné, že byly vybrány pouze informace, které bezprostředně souvisí s chováním pro tuto práci nejdůležitější vrstvy, tedy nosné hmotné konstrukce. Jak je z grafů také zřejmé, pouze k těmto teplotám bylo simulací vytvořeno jejich „dvojče“, které nám tak pomůže lépe pochopit jak chování, tak i přesnost samotné simulace. V souladu s kapitolou D.2.6 *Sbíraná data* byly vybrány následující parametry, které jsou více sledovány.

- $a\theta_{s1}$ – Teplota na rozhraní interiéru a hmotného pórobetonového pláště [°C].
- $a\theta_{s2}$ – Teplota na rozhraní hmotného pórobetonového pláště a tepelné izolace [°C].
- $a\theta_{s3}$ – Teplota na rozhraní tepelné izolace a nevětrané vzduchové mezery [°C]
- $a\theta_{s4}$ – Teplota na povrchu doplňkové hydroizolační vrstvy, tedy rozhraní DHV a VVV pod krytinou [°C].

E.4.9 Průběh teplot v kritických datech



Graf 40 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – datum 12.02. [32]



Graf 41 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – datum 28.07. [32]

Jak je možné si povšimnout z průběhů, přidávají se do grafů další sledované parametry.

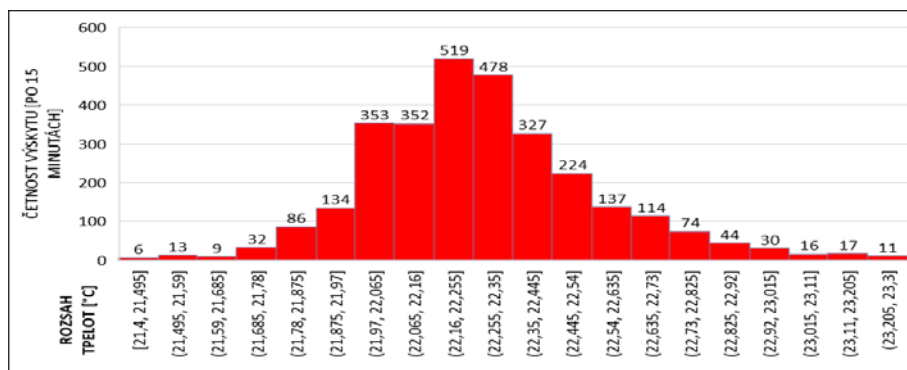
- $a_{\theta_{s5}}$ – Teplota na spodním líci střešní krytiny [°C].
- $a_{\theta_{s6}}$ – Teplota na horním líci střešní krytiny [°C].
- $chmi\theta_{e,sp,min}$ – Přizemní minimální teplota vzduchu měřená 5 cm nad zemí [°C].

Parametry jsou dosazeny do grafů z důvodu lepšího porozumění chování samotné skladby v kritické dny. Jsou vynechány simulované hodnoty, které by vedly ke značné nepřehlednosti. Pro vyjádření chování a závislosti teplot na solárních ziscích jsou uvedeny informace, které souvisí s východem a západem slunce [127].

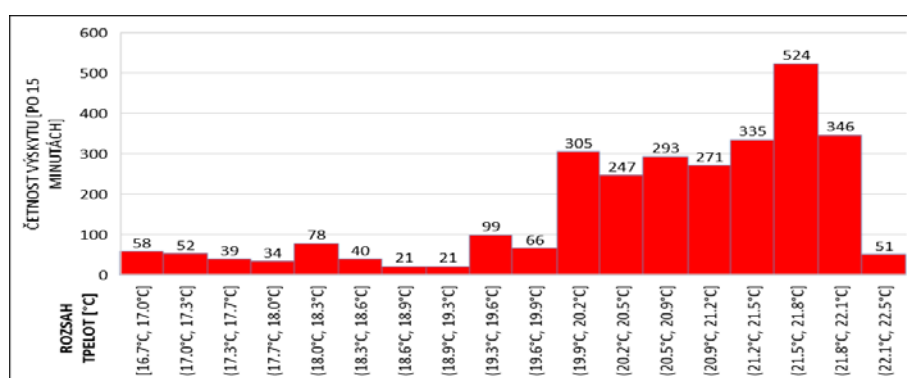
E.4.10 Histogramy hodnot za jednotlivé vybrané časové úseky

Pro lepší pochopení průběhů jednotlivých teplot z hlediska četnosti jejich výskytu byly pro vybrané časové úseky zhotoveny histogramy teplot nejdůležitějších zkoumaných vrstev,

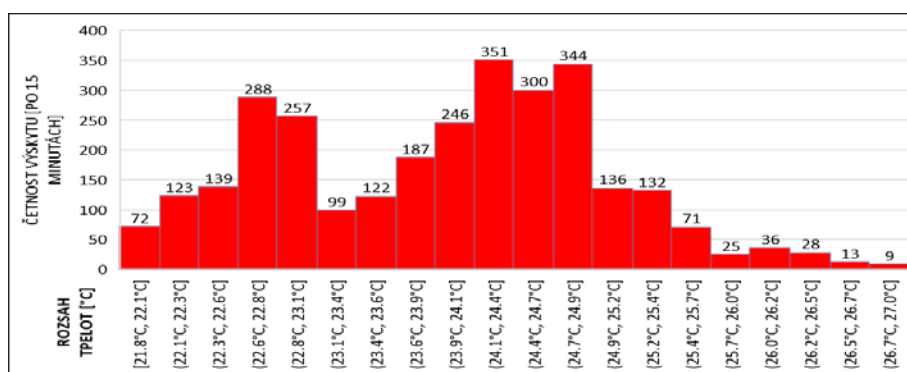
tedy rozhraní nosné konstrukce a izolantu a nosné konstrukce a omítky/interiéru. Současně byly zhotoveny pro stejné časové úseky také histogramy hustot tepelných toků viz **Graf 42** až **Graf 56**.



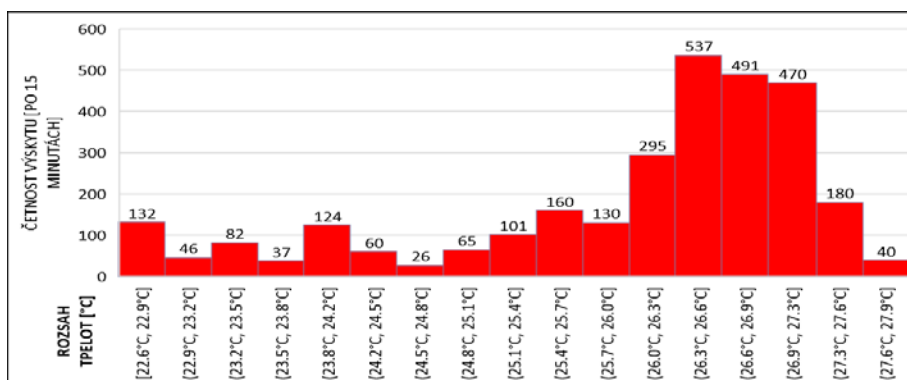
Graf 42 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a_{\theta_{s1}}$ – leden [32]



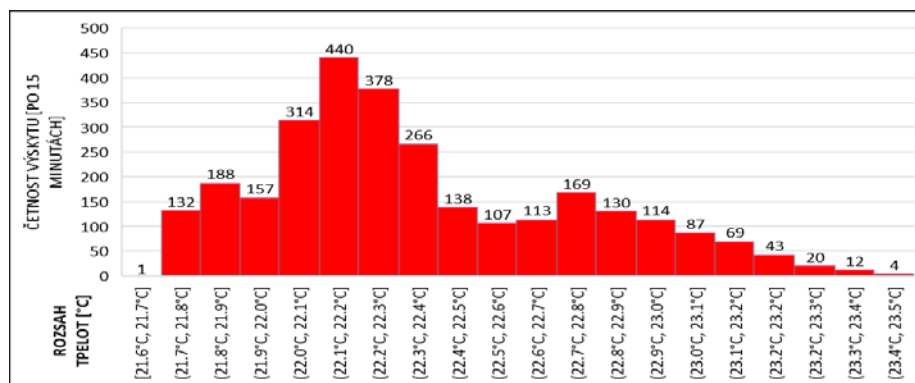
Graf 43 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a_{\theta_{s1}}$ – duben [32]



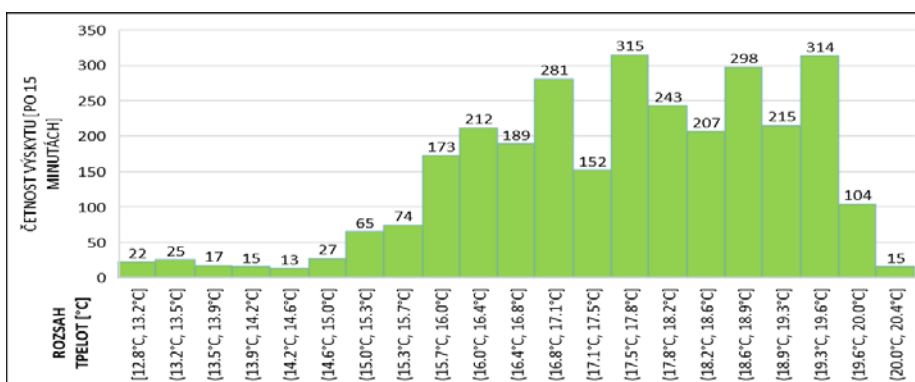
Graf 44 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a_{\theta_{s1}}$ – červenec [32]



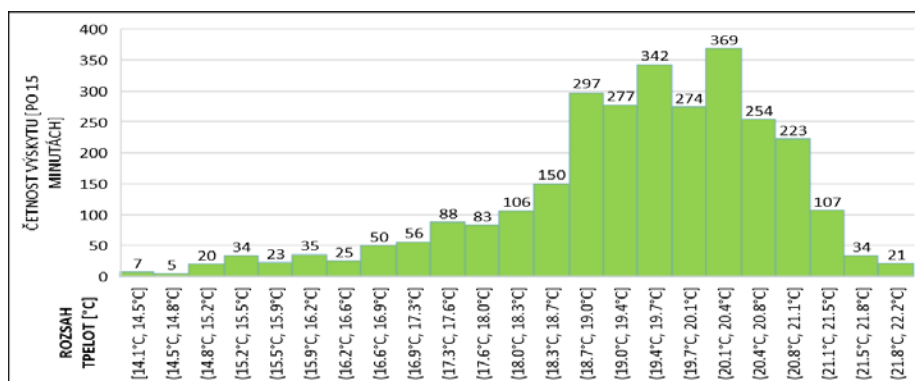
Graf 45 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a_{\theta_{s1}}$ – srpen [32]



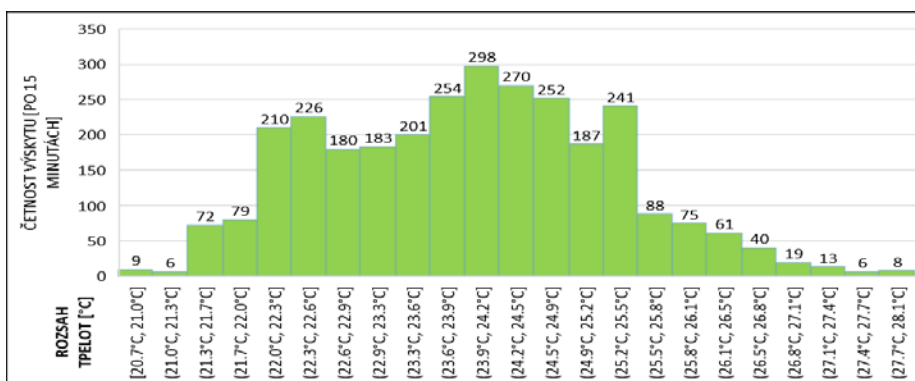
Graf 46 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a\theta_{s1}$ – listopad [32]



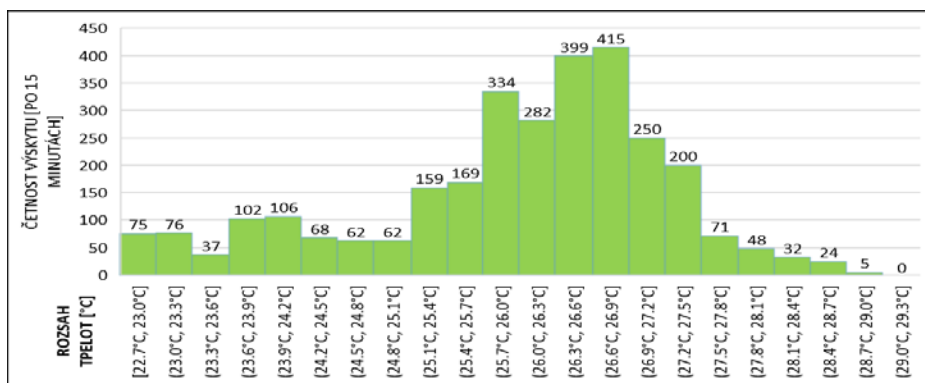
Graf 47 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a\theta_{s2}$ – leden [32]



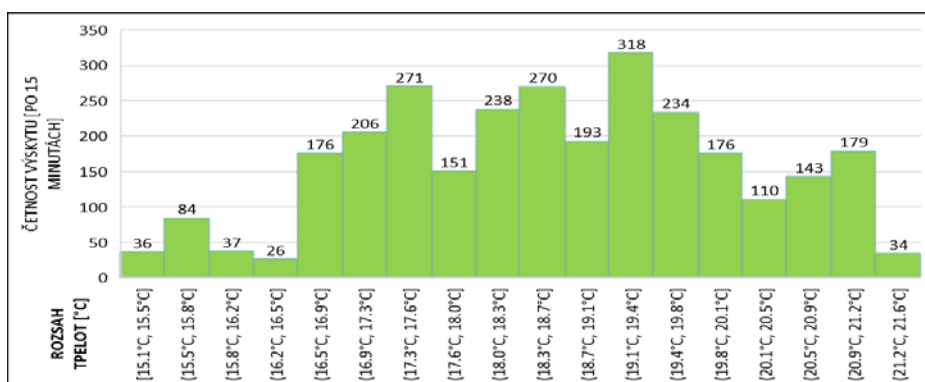
Graf 48 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a\theta_{s2}$ – duben [32]



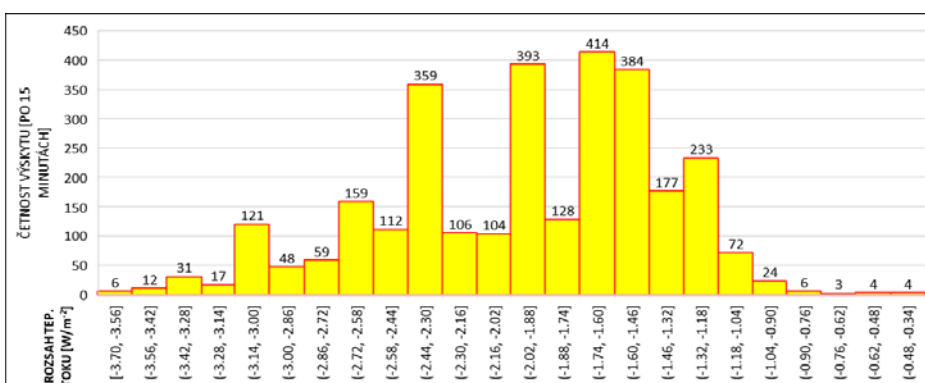
Graf 49 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a\theta_{s2}$ – červenec [32]



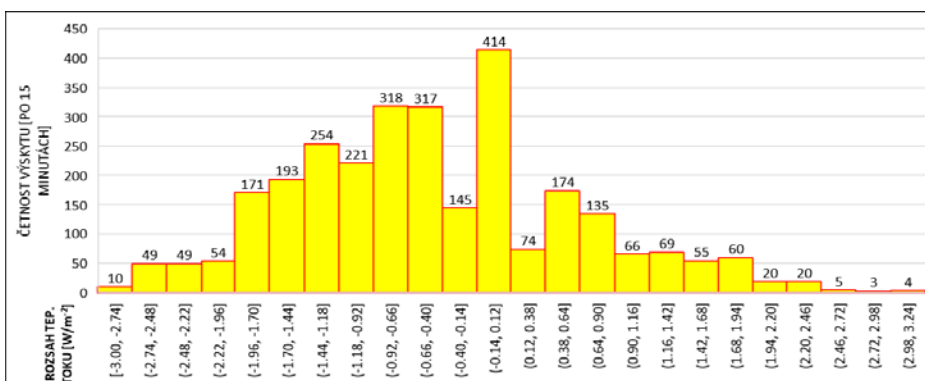
Graf 50 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a_{\theta_{s2}}$ – srpen [32]



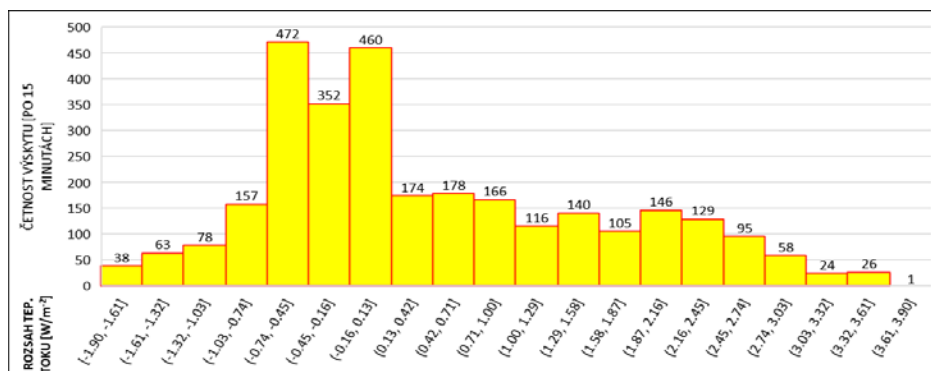
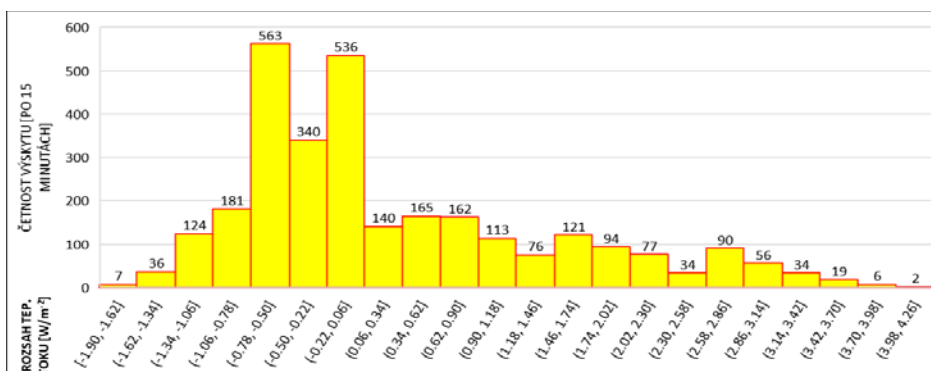
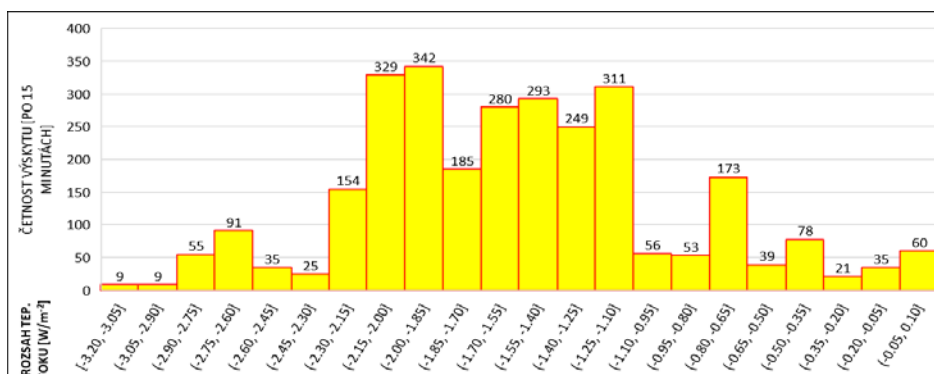
Graf 51 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a_{\theta_{s2}}$ – listopad [32]



Graf 52 Histogram hustoty tepelného toku skladbou $a_{q_{kl}}$ – leden [32]



Graf 53 Histogram hustoty tepelného toku skladbou $a_{q_{kl}}$ – duben [32]

Graf 54 Histogram hustoty tepelného toku skladbou a_{qkl} – červenec [32]Graf 55 Histogram hustoty tepelného toku skladbou a_{qkl} – srpen [32]Graf 56 Histogram hustoty tepelného toku skladbou a_{qkl} – listopad [32]

E.4.11 Shrnutí měření před analýzou

Kapitola E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace pojednává a řeší rozsáhlé měření a simulaci, která sestává z téměř 10 milionů individuálních hodnot pro jednotlivé vrstvy, časy a parametry. Je nutné vyselektovat pro účely této práce jen část výsledků v prezentovatelné podobě. Bylo přistoupeno k výběru a zobrazení pouze části dat ve vybraných časových úsecích. Podrobnost časového kroku po 15 minutách se ukázala jak v případě simulace, tak i v případě experimentálního měření podstatná, zejména poté při hodnocení vrstev, které jsou buď přímo exponované ve vnějším prostředí, nebo se nacházejí velmi blízko. Je možné, viz **Graf 30** až **Graf 41**, postihnout jak drobné nuance teplot, tak i jejich chování v čase. Je pravděpodobné, že celá řada dalších informací bude patrná pouze z časově delšího experimentálního sběru dat nebo simulace. Při delším sběru dat dojde například k relativnímu ustálení vnitřního prostředí a bude možné odlišit vlastnosti a chování skladby od vlivu uživatelů a další.

E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace

Výsledky experimentálního měření a simulace jsou situovány pouze na část dat, která byla obdržena v rámci samotného experimentu. Tato data, kterých je po součtu všech vstupů několik milionů, jsou tedy vztažena jen na část vrstev souvisejících s nosnou hmotnou konstrukcí pro vybrané časové úseky.

Analýza byla provedena jak pomocí tabulkového editoru Excel za pomoci sledování průměrných, maximálních i minimálních hodnot, tak také za pomoci vizuálního sledování jednotlivých průběhů. Vzhledem k množství dat a jejich reálnému průběhu nebylo možné vhodně využít veškeré matematické metody na analýzu dat. Výjimku tvoří integrace průběhu jednotlivých hodnot, která byla použita ke zohlednění podobnosti průběhů skutečného experimentálního měření a simulace.

E.5.1 Analýza ročních izolinií teplot a vlhkostí

Metoda vytvoření grafů pomocí izolinií se ukázala pro účely této práce jako velmi vhodná. Jak je patrné viz kapitola *E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách*, je možné metodou velmi rychle zanalyzovat obrovské množství dat za rozsáhlé, v případě práce roční, časové období. Složení grafů s intenzitou dat po 10 minutách se ukázalo také jako vhodné.

E.5.1.1 Izolinie VVV a DHV

Izolinie VVV a DHV viz **Graf 14** a **Graf 15** jsou u průběhů jak teplot θ , tak i relativních vlhkostí δ na první pohled velmi chaotické, což vypovídá také o jejich umístění ve vztahu k vnějšímu prostředí, avšak současně je možné si povšimnout závislosti mezi změnou teploty, která se následně odrazí ve změně relativní vlhkosti, což vytváří také výsledný tvar grafů. Teploty napříč celým ročním obdobím dosahují ve VVV a na DHV obrovského rozptylu teplot, a to nejen v letních, ale také v přechodových ročních obdobích. Například je možné v měsíci červenci vidět výkyv dosahující od 7,5 °C do 65 °C. Současně je možné pozorovat, že teploty dosahují i v zimních měsících jako je například leden či únor značných výkyvů, které se pohybují od hodnot -15 °C do cca 31,5 °C. Výsledný tvar grafů a výkyvy jsou způsobeny neustálou expozicí krytiny solárnímu záření, které, po akumulaci krytiny, následně vyzařuje díky měrné tepelné kapacitě c do skladby a zahřívá VVV a DHV. Současně dochází k velmi vysoké výměně vzduchu v obou vzduchových dutinách.

Graf 14 a **Graf 15** popisují chování vrstev, které se nemusí zdát podstatné pro chování nosné hmotné konstrukce šikmého střešního pláště jako takového. Současně ale zachycují prostředí, ve kterém se nachází jak VVV, tak DHV a které má zcela odlišné tepelně-vlhkostní vlastnosti, než je tomu u vnějšího prostředí. Je patrné, že prostředí přejímá roli udavatele chování celé skladby a podílí se pozitivně i negativně na chování celé skladby. Zjištění je zmíněno v článku autora [128]. Z průběhů izolinií je patrný mechanismus opakujícího se ročního cyklu, kdy dochází k překrytí jednotlivých na sebe navazujících měsíců a poté návratu na pomyslný začátek grafu. Aby bylo možné data zachycená ve VVV využít i pro účely jiných experimentů, byly veškeré naměřené hodnoty proloženy polynomickou spojnicí trendů pátého stupně, jejíž hodnota čtverce dosahuje $R^2 = 0,7376$ a kterou je možné vyjádřit následující rovnicí.

$$\delta = -1 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^5 + 1 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^4 - 0,0036 \cdot \theta^3 - 0,0394 \cdot \theta^2 + 0,067 \cdot \theta + 85,251 \text{ [%]} \quad (76)$$

kde δ relativní vlhkost v předmětné vrstvě VVV [%]
 θ teplota v předmětné vrstvě VVV [°C]

E.5.1.2 Izolinie tepelného izolantu

Bylo přistoupeno k analýze teplot a vlhkostí v jednotlivých vrstvách tepelného izolantu od jejího rozhraní s větranou vzduchovou vrstvou po rozhraní nosné hmotné konstrukce. Izolinie viz **Graf 16** až **Graf 22** vypovídají o několika faktech. První je postupná změna tvaru průběhu teploty θ a relativní vlhkosti δ , kterou doprovází postupný pokles maximálních i minimálních teplot napříč sledovaným rokem i tloušťkou izolantu, který v případě minimálních hodnot změni svoji hodnotu z $-7,5$ °C na $+16,5$ °C a maximální hodnotu z $+62,5$ °C na $+28,5$ °C. Jinými slovy je patrná teplotní amplituda A_e a A_{si} [44] pro výpočet teplotního útlumu v (68).

Změnu teploty doprovází také značná a významná změna vlhkosti a postupný zánik tvaru charakteristického z VVV nebo DHV. Změna relativní vlhkosti δ se jak v minimálních, tak v maximálních hodnotách postupně stabilizuje. Maximální hodnoty napříč časem a vrstvami zůstávají téměř stejné a pohybující se od 81,5 % do 89,2 %, avšak minimální hodnoty se pohybují od 33,4 % do 62,2 %. V této spojitosti je nutné zohlednit teploty, při kterých se jednotlivé vlhkosti vyskytují a které jsou, pokud se zaměříme na maxima, příznivé.

Výsledkem je nejen postupné snížení výkyvů teplot a z toho plynoucího snížení výkyvů vlhkosti, ale co je dále patrné z jednotlivých obrazů je postupný zánik jednoho mechanismu závislosti teploty na vlhkosti a následné vytvoření pravidelných, téměř geometrických obrazců průběhů, což se směrem od exteriéru do interiéru ukazuje na stále vyšší měřítku, zejména poté v okolí středu vrstvy tepelného izolantu. Obrazce směrem od středu vrstvy tepelného izolantu postupně zanikají v důsledku stabilizace vlhkového toku, který viz **Graf 16** až **Graf 22** ve smyslu vlhkosti klesá. Současně s vývojem obrazců z jinak chaotického průběhu a jejich postupného zániku je možné si povšimnout na rozhraní izolantu a nosné hmotné konstrukce viz **Graf 22**, vytvoření neopakujícího se cyklu, který značí neustálený tepelně-vlhkostní tok, který je dále umocněn zabudovanou vlhkostí ve skladbě samotné.

E.5.1.3 Izolinie nosné konstrukce

V rámci grafů viz **Graf 22** až **Graf 26** dochází k několika zásadním věcem. První a nejdůležitější informací je zohlednění faktu absence parotěsnicí vrstvy. Vzhledem k charakteru nosné hmotné konstrukce šikmého pláště, tedy pórobetonu, je umožněno díky jeho otevřené struktuře volné proudění difúzního toku g . Vlastnosti umožňují téměř plynulé navázání na obrazce izolinií v tepelném izolantu. Je pravděpodobné, že absence parozábrany není možná u všech materiálů a je zřejmé, že její absence vede u jiných materiálů a zejména poté lehkých střešních pláštů k fatálním následkům. Avšak, díky charakteru této nosné hmotné konstrukce a materiálu, ze kterého je vytvořena, je možná její naprostá absence, která vede velmi pravděpodobně, díky tepelně-vlhkostnímu toku, k lepším výsledkům, než jaké by nastaly při jejím zabudování.

Z průběhů je patrné postupné snižování výkyvů teplot a vlhkostí, kdy trend poklesu přetrvává cca do $\frac{1}{2}$ vrstvy nosné hmotné konstrukce. Od poloviny vrstvy se opětovně začínají projevovat externí vlivy, tentokrát však z vnitřního prostředí. I když se zásadně nemění výkyv teploty, naopak stále pokračuje trend navyšování minimálních a snižování maximálních hodnot v závislosti na tepelné pohodě uživatelů, nastávají značné výkyvy vlhkosti δ . Výkyvy, které jsou způsobeny užíváním vnitřního prostředí a současně projevem přirozeného větrání vnitřního prostředí, například pomocí oken, mají za následek transformaci výše zmíněných a z grafů patrných geometrických obrazců na chaotičtější tvary.

Zánikem geometrických průběhů teploty θ a vlhkosti δ je možné si daleko více povšimnout vytvoření neopakujícího se cyklu, který značí neustálený tepelně-vlhkostní tok. Je pravděpodobné, že pokud bychom po delší časový úsek v horizontu několika let sledovali průběh, došlo by velmi pomalu a postupně k vytvoření semiustáleného stavu, kdy by se obdobně jako

v tepelném izolantu začaly vzájemně prolínat jednotlivé měsíce a došlo by tak k částečnému cyklickému průběhu, jako je tomu například u historických objektů [92]. Vzhledem k charakteru stavby, jejímu vysychání a typu užívání je však nepravděpodobné, že stav během několika dalších let nastane.

Je příhodné si povšimnout průběhu teplot v zimních i letních měsících. Pokud vezmeme v potaz dobu, kdy byl objekt trvale obydlen, tedy duben, můžeme si povšimnout na rozhraní nosného hmotného pláště výrazného nárůstu teploty v čase, který je doprovázen naopak poklesem vlhkosti. Patrný je nárůst teploty napříč materiálem zejména v letních měsících, kdy se teplota přibližuje v srpnu a září k překročení normou stanovené teploty $\theta_{ai,max,N}^* = 27$ °C. Průběh tak velmi pravděpodobně dokazuje předpokládaný problém s přehříváním konstrukce a akumulací tepla, kdy viz **Graf 16** až **Graf 27** je patrné, že teplota dosahuje trvale vysokých hodnot. Současně se projevuje a je možné si povšimnout rozdílného průběhu teplot v měsících přechodových, kdy hodnoty oscilují v relativně příznivých hodnotách.

E.5.1.4 Izolinie omítky a vnitřního prostředí

Průběhy grafů viz **Graf 26** a **Graf 27** navazují opět na izolinie nosné hmotné konstrukce. Lze si všimnout, v již vysvětleném kontrastu působení vnitřního prostředí na skladbu samotnou, daleko více náhodného až chaotického rozložení tepelně-vlhkostních průběhů v čase.

V zimních měsících se objekt s ohledem na skladbu chová z hlediska teploty θ a relativní vlhkosti δ předmětné vrstvy velmi stabilně. Je možné si všimnout že na obou rozhraních, tedy nosné konstrukce i omítky jsou měsíce leden, únor, listopad a prosinec velmi blízko sebe a ve většině případů se průběhy téměř překrývají. Lze vyslovit závěr, že skladba jako taková od omítky směrem k nosné vrstvě velmi dobře akumuluje teplo i vlhkost, která mu je předávána z vnitřního prostředí, což vede na velmi stabilní průběhy. Mechanismus je umocněn pravděpodobnou nižší mírou větrání vnitřních prostor.

V letních měsících jsou naopak viditelné velmi rozptýlené hodnoty teplot i vlhkosti, které dosahují v obou směrech velmi vysokých hodnot. Opětovně lze konstatovat, že akumulace skladby funguje, avšak nyní již potenciálně nepříznivě, jak je patrné z průběhu teplot zejména v měsíci srpnu a září. Mechanismus je dále ovlivněn i uživateli samotnými a druhem místnosti, která je situována na jihozápad a je využita jako pracovna. Oproti výsledkům kapitoly E.2 *Výsledky základní simulace* je zaznamenána výrazně nižší teplota v letním období, než by bylo možno na základě základní simulace očekávat. Je možné předpokládat, že místnost je oproti výchozí simulaci lépe tepelně stabilizována uživateli. Z průběhů izolinií je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Nosná hmotná konstrukce šikmého střešního pláště vykazuje zmíněné akumulační vlastnosti, které vedou v zimních měsících k velmi stabilnímu prostředí. V letních měsících však stejné vlastnosti vedou k značným výkyvům jak teplot, tak i vlhkostí s prokázaným rizikem nežádoucího nárůstu teplot $\Delta\theta_{ai,max}$. V přechodných měsících je opět možné pozorovat velmi příznivé teploty napříč celou nosnou konstrukcí.
- V hlediska difúzního toku g je nosná hmotná konstrukce velmi příznivá a pokud je provedena z pórobetonu, nevyžaduje díky své pórovitosti a dalším materiálovým vlastnostem ve skladbě střešního pláště parotěsnicí vrstvu, která by zabraňovala proudění vlhkosti napříč skladbou. Je otázkou, jak velký vliv by měla případná difúzně nepropustná vrstva na finální vlhkostní stav.
- Nosná hmotná konstrukce vede k velmi stálé hustotě tepelného toku q a difúznímu toku g , jak je patrné z jednotlivých průběhů. Současně velmi rychle stabilizuje společně s izolantem výkyvy vnitřního a zejména vnějšího prostředí.

- V závislosti na teplotě, na kterou je vytápěn objekt, hmotné pláště orientované na jih vedou ke snížení energetické náročnosti v zimních a přechodových měsících. Tento fakt bude dále prověřen.

E.5.2 Analýza ročních průběhů vlhkosti

V průběžích roční vlhkosti v předmětné skladbě byly sledovány, kromě celkového průběhu, pouze ty vrstvy konstrukce, kde je vlhkost jednak podstatnou informací a současně kde jsou její hodnoty významné. Je vhodné opětovně připomenout fakt, že simulace vychází z reálných hodnot, kdy pouze počáteční, tedy zabudovaná, vlhkost byla převzata z databáze institutu Fraunhofer IBP [112].

E.5.2.1 Množství vody v jednotlivých vrstvách

Z průběhů viz **Graf 28** je přesně patrný okamžik nastěhování investorů cca kolem 10.04.2020, kdy dochází k rapidnímu poklesu vlhkosti v nosné konstrukci a vnitřní omítce. Po celou dobu roku dochází k poklesu vlhkosti s výjimkou data kolem 09.02.2021, kdy dle uživatelů došlo k částečnému výpadku vytápění. Přesto je však patrné, že se jednotlivé vrstvy z hlediska vlhkosti velmi rychle srovnají ve výsledném průběhu a došlo k mírnému zvýšení množství vody.

Celkově lze konstatovat, že se konstrukce chová z hlediska vlhkosti velmi příznivě a kombinace hmotného nosného pláště šikmé střechy z pórobetonu bez parotěsnicí vrstvy a použití sádrové omítky je vhodná. Dochází k poklesu množství vody v nosné konstrukci z cca $13,14 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ na $4,78 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ a k poklesu ve vnitřní omítce z $9,72 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na $5,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Kdyby nedošlo k částečnému výpadku vytápění byly by hodnoty s vysokou pravděpodobností nižší.

Absence parozábrany ve skladbě nevede k nežádoucímu vstřebávání vlhkosti z okolního prostředí, nebo jejímu hromadění uvnitř hmotného pláště a lze konstrukci skladby v tomto provedení prohlásit za vhodnou.

E.5.2.2 Celkové množství vody v konstrukci skladby

Z průběhu viz **Graf 29** je opětovně patrný okamžik nastěhování, stejně jako porucha vytápění objektu. Průběh je zkrácen množstvím vody, která se nachází ve VVV, DHV a částečně také tepelném izolantu. I přes tuto skutečnost je možné pozorovat relativně stálý pokles až do data kolem 30.09.2020, kdy dochází k ochlazení vnějšího prostředí po letních měsících a zvýšení relativní vlhkosti vzduchu. Kolem data 16.10.2020 je patrný opětovný pokles celkového množství vody napříč skladbou, který pokračuje až do data výpadku vytápění, kdy po dobu, cca měsíce, opětovně roste v celé skladbě množství vody. Následně je opět pozorovatelný pokles.

Pokles množství vody v nosné konstrukci a omítce, který je patrný z předchozí kapitoly, vypovídá o tom, že napříč skladbou dochází k datu kolem listopadu k nevýraznému úbytku vlhkosti ve vnitřní omítce a pomalému ubývání vlhkosti v nosné konstrukci. Při přenesení povědomí o těchto informacích do celkového množství vody v celé konstrukci je možné konstatovat, že dochází k nárůstu vlhkosti v jiných, dříve nezobrazených vrstvách.

Pokud dále vezmeme v potaz celou skladbu, nelze prohlásit, že se, zcela logicky, jedná o ustálený tepelně-vlhkostní stav. Kdybychom získali víceroční průběh je pravděpodobné, že celková vlhkost dosáhne jistých hranic, kterých se bude z hlediska marginálních výkyvů držet. Tento semiustálený stav však nenastává po celou dobu experimentálního měření. Celkové množství v monitorovaném období klesne z hodnoty $3,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ na hodnotu $1,84 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Skladba hmotného pláště šikmé střechy z pórobetonového materiálu velmi dobře reaguje na vlhkost a z hlediska množství vody ve skladbě dochází k trvalému, postupnému a příznivému vysychání skladby. Z průběhů vlhkosti je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Skladba hmotného pláště šikmé konstrukce zhotovená z pórobetonu nepotřebuje ke svému vhodnému fungování disponovat parotěsnicí vrstvou.
- Nosná hmotná konstrukce velmi dobře vstřebává, redistribuuje a následně odvádí veškerou vlhkost, která se v samotném materiálu nachází, nebo která je do skladby samotné dále vstřebávána.
- Nosná hmotná konstrukce i přes svou zabudovanou vlhkost trvale vysychá po zahájení užívání celý sledovaný časový úsek.
- Hmotný plášť šikmé střechy z hlediska celkového množství vody v jednotlivých vrstvách nedosahuje vyrovnání po celou dobu experimentálního měření.

E.5.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období

Vzhledem k velkému objemu dat bylo přistoupeno ke zkoumání a analýze průměrných, minimálních a maximálních teplot ve zkoumaných vrstvách napříč celým časovým obdobím od 01.04.2020 do 31.03.2021. Hodnoty byly shrnuty do tabulek viz **Tabulka 13** a **Tabulka 14**. Data použitá k analýze teplot vycházejí z experimentálně zjištěných a naměřených hodnot.

E.5.3.1 Průběh teplot na DHV a izolantu

Z výsledků viz **Tabulka 13** je velmi patrné, že dochází na vrstvách DHV a horním povrchu izolantu ke značným teplotním výkyvům v letních měsících a poté v obou kritických měsících dubnu i listopadu. Přes značné výkyvy je možné pozorovat mezi vrstvami téměř totožné průměrné hodnoty a odchylky. Lze pozorovat, že průměrné hodnoty (ozn. **Prům.** a **Med.**) zůstávají trvale nad bodem mrazu, a i přes fakt, že čidla od sebe dělí pouze vrstva DHV a 30 mm velmi slabě větrané vzduchové mezery/vrstvy, dochází zejména v zimních měsících k patrnému nárůstu teplot (ozn. **Max**), a naopak poklesu teplot v měsících letních (ozn. **Min**). Jedná se o důkaz odlišného chování VVV. Dále je patrné, že teplota díky krytině, jejím akumulacím vlastnostem a zejména vyzářování tepla nazpět do skladby jak pozitivně, tak negativně ovlivňuje teploty na povrchu jednotlivých vrstev.

Měsíc	DHV						IZOLANT					
	Prům. [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Pr. Odch. [°C]	Prům. [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Pr. Odch. [°C]
Leden	1,63	1,10	22,20	-9,40	4,60	3,41	2,43	2,00	20,80	-7,60	4,10	3,05
Únor	2,17	1,10	31,60	-15,5	7,83	5,45	2,79	2,00	29,30	-13,6	6,97	4,92
Březen	6,59	4,20	50,00	-9,60	10,42	7,89	6,78	4,80	47,30	-7,40	9,14	6,92
Duben	15,72	12,60	51,20	-9,30	14,05	11,91	15,12	13,00	48,60	-7,10	12,04	10,12
Květen	18,27	15,00	55,90	-0,70	11,97	9,71	18,02	15,20	53,30	0,70	10,75	8,65
Červen	23,60	19,50	57,10	6,00	11,06	9,12	23,25	19,65	54,70	7,00	10,04	8,19
Červenec	27,26	22,80	63,90	6,20	13,89	12,04	26,89	23,00	61,60	7,00	12,70	11,00
Srpen	27,57	22,20	64,80	6,60	13,20	11,19	27,29	22,60	62,50	7,80	11,99	10,12
Září	20,65	16,30	56,50	0,90	11,94	9,90	20,36	16,80	54,00	2,40	10,51	8,70
Říjen	12,77	10,90	39,50	0,70	7,44	5,66	12,77	10,90	36,10	1,90	7,44	4,95
Listopad	6,37	6,10	32,40	-7,70	6,46	4,59	6,91	6,80	29,70	-6,40	5,77	4,12
Prosinec	3,47	3,20	23,70	-9,30	3,90	2,66	4,10	3,90	21,50	-7,40	3,48	2,41

Tabulka 13 Tabulka analýzy teplot na předmětných vrstvách v jednotlivých měsících [32]

E.5.3.2 Průběh teplot na rozhraní izolantu/nosné konstrukce a nosné konstrukce/interiéru

Výsledky analýzy jsou patrné viz **Tabulka 14**. Jak lze vyčíst z jednotlivých průběhů izolinií a jejich analýzy, dochází k ustálení teplot na obou rozhraních z hlediska průměrných teplot, minim a maxim, stejně jako rapidnímu poklesu směrodatné (ozn. **Sm. Odch.**) a průměrné odchylky (ozn. **Pr. Odch.**).

Měsíc	NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						NOSNÁ KONSTRUKCE/INTERIÉR					
	Prům. [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Pr. Odch. [°C]	Prům. [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Pr. Odch. [°C]
Leden	17,61	17,70	20,20	12,80	1,46	1,20	22,27	22,20	23,30	21,40	0,29	0,22
Únor	18,22	18,20	20,90	13,70	1,53	1,29	22,66	22,70	24,00	21,50	0,49	0,41
Březen	19,08	19,00	25,10	13,50	1,82	1,43	23,82	23,80	25,70	22,30	0,62	0,50
Duben	19,35	19,60	22,10	14,10	1,41	1,08	20,67	20,90	22,40	16,70	1,28	0,97
Květen	21,19	21,60	23,40	18,20	1,23	1,08	22,27	22,50	23,90	20,00	1,00	0,89
Červen	22,75	22,60	25,20	20,80	0,97	0,81	22,96	23,00	24,50	21,00	0,78	0,60
Červenec	23,94	24,00	27,90	20,70	1,31	1,08	23,94	24,10	26,80	21,80	1,06	0,89
Srpen	25,99	26,20	29,00	22,70	1,25	0,96	26,03	26,50	27,70	22,60	1,28	1,01
Září	24,03	24,30	27,10	20,50	1,41	1,11	24,70	24,80	26,40	21,70	1,03	0,76
Říjen	20,31	20,40	22,20	17,20	0,91	0,69	22,19	22,10	23,10	21,50	0,34	0,27
Listopad	18,62	18,70	21,30	15,10	1,46	1,21	22,30	22,20	23,50	21,60	0,39	0,32
Prosinec	16,52	16,50	20,30	12,40	1,87	1,63	22,10	22,10	22,90	21,30	0,29	0,24

Tabulka 14 Tabulka analýzy teplot na předmětných vrstvách v jednotlivých měsících [32]

Opětovně je patrná problematika ohledně akumulace, která se projevuje jak v zimním, tak letním období.

V zimním období pozorujeme na rozhraní nosné konstrukce a izolantu relativně vysoké teploty, jež v příznivých, tedy slunečných dnech dosahuje teploty maxim přes 20 °C. Průměrné hodnoty následně neklesnou pod 16,5 °C s výjimkou extrémních výkyvů teplot, kdy dojde k značnému prochlazení na rozhraní. Jedná se opět o pozitivní přínos hmotné nosné konstrukce, která dokáže trvale zadržovat teplo a snížit tak potenciální výdaje na vytápění vnitřních prostor při vhodné orientaci. Rozhraní nosné konstrukce a interiéru je v zimních měsících s výjimkou daleko menšího rozptylu mezi minimální a maximální teplotou téměř totožně. Je patrné užívání objektu s výjimkou dubna, kdy došlo k nastěhování, což vede na značně odlišnou minimální teplotu.

V letním období se projevuje akumulace na rozhraní nosné konstrukce a izolantu. Pozorovatelné jsou komplikace v měsíci červenci a srpnu kdy dochází k negativnímu nahromadění tepla. I když je průměrná teplota menší, než jsou maxima, je nutné vzít díky akumulacím vlastnostem tyto maximální výkyvy v potaz a prohlásit je za problematické. Rozhraní nosné konstrukce a interiéru velmi přesně kopíruje v letních měsících s výjimkou odchylek chování teplot na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu. Vzhledem k působení vnitřního prostředí z hlediska ovlivnění teplot je patrná relativně stálá průměrná teplota, avšak lze pozorovat v nyní již třech měsících, tedy červenci, srpnu a září, že jsou naměřené průměrné a zejména maximální teploty relativně vysoké a je nutné je vzít z hlediska jejich průběhu v potaz. Z průběhů teplot během celého časového úseku možné shrnout následující dílčí závěry.

- Skladba směrem k interiéru logicky vykazuje menší průměrné i směrodatné odchylky a výkyvy mezi maximálními a minimálními teplotami. K relativnímu a vypovídajícímu chování dochází až na rozhraních nosné konstrukce a tepelného izolantu. Pozorovatelná je míra tepelné zátěže, které jsou vystaveny vrstvy DHV a horního povrchu tepelného izolantu. Tyto místy až extrémní výkyvy jsou hlavním mechanismem, který negativně i pozitivně ovlivňuje fungování celé skladby a rozhoduje o příznivých či nepříznivých účincích akumulacím vlastností hmotné nosné konstrukce šikmého střešního pláště.
- Teplota na rozhraní tepelného izolantu a nosné konstrukce vykazuje díky akumulacím vlastnostem hmotné nosné konstrukce přínosné průměrné hodnoty pro zimní období, které hodnotově v těchto měsících neklesnou pod 16,5 °C, což je pozitivní. Pokud se zaměříme na minima, dostáváme se kontinuálně na vysoké

hodnoty i v kritickém zimním měsíci lednu. To vede ke snížení energetické náročnosti objektu jak během zimních, tak během přechodných měsíců. Fakt bude dále prověřen.

- Přechodné měsíce jsou z hlediska teplot na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu velmi rozporuplné a je možné pozorovat relativně značné výkyvy jak v maximálních, tak i minimálních hodnotách. Pokud se však zaměříme na průměrnou teplotu, která dosahuje příznivých hodnot, jedná se opětovně o fakt, který snižuje energetickou náročnost objektu. Fakt bude dále prověřen.
- Stejná výhoda pro zimní a přechodné měsíce v podobě akumulačních vlastností se stává problematickou pro měsíce letní, kdy nastává nárůst tepla napříč všemi skladbami. Pokud se zaměříme na teplotu rozhraní tepelného izolantu a nosné konstrukce, můžeme pozorovat v měsících červenci, srpnu a září výkyvy přesahující maximální normové hodnoty $\theta_{ai,max,N}^*$, tedy více než 27 °C. Pokud se zaměříme na rozhraní nosné konstrukce, zjistíme, že se ve stejných měsících přibližujeme a v jednom případě dokonce překračujeme danou hranici. Fakt bude dále prověřen.

E.5.4 Analýza průběhu hustoty tepelného toku v celém předmětném časovém období

Za účelem prověřit fakt ohledně snížení energetické náročnosti objektu při různých měsících, tedy zimních a přechodných měsících, stejně jako prověření fakta ohledně nežádoucí tepelné akumulace v měsících letních, bylo za pomoci čidla hustoty tepelného toku zabudovaného na rozhraní tepelného izolantu a nosné konstrukce provedeno ucelené měření, při kterém byly stanoveny ze všech naměřených hodnot průměrná hustota tepelných toků (**Prům. H.T.T.**) pro jednotlivé měsíce, jejich medián (**Med. H.T.T.**), maxima (**Max H.T.T.**) a minima (**Min H.T.T.**).

Pro definování časových úseků, v našem případě dnů, kdy objekt vykazuje ztrátu (**Počet dnů -**), zisky (**Počet dnů +**), nebo hodnoty blízké nule (**Dny bez toku**), byly spočítány pomocí tabulkového editoru Excel jednotlivé naměřené hodnoty. Údaje byly rozděleny podle jejich hodnoty na dny, kdy skladba vykazovala zisk, ztrátu, nebo je hodnota čidlem neměřitelná. Výsledky jsou patrné viz **Tabulka 15**.

Měsíc	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T. T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ²]	Min H.T. T. [W·m ²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]	Dny bez toku [-]
01	-1,95	-1,90	-0,4	-3,7	0,000	31,000	0,000
02	-1,88	-1,90	0	-3,8	0,000	27,823	0,177
03	-1,64	-1,60	2,3	-4,5	1,125	28,958	0,917
04	-0,44	-0,50	3	-3	7,531	19,208	3,260
05	-0,32	-0,40	2,6	-3,1	6,635	20,281	4,042
06	0,11	-0,10	3,5	-1,5	11,785	14,469	3,771
07	0,40	0,00	3,7	-1,9	14,719	12,885	3,417
08	0,27	0,00	4	-1,9	12,344	14,917	3,740
09	-0,30	-0,50	2,5	-2,3	7,802	19,427	2,875
10	-0,86	-0,90	1,2	-2,5	1,573	27,510	1,917
11	-1,57	-1,60	0	-3,2	0,000	29,396	0,625
12	-2,09	-2,00	-0,5	-3,8	0,000	31,000	0,000
				Suma dnů	63,515	276,875	24,740

Tabulka 15 Tabulka hustot tepelných toků a rozložení zisků a ztrát konstrukcí v čase [32]

Před začátkem slovního hodnocení je důležité se zaměřit na průměrnou hodnotu, na kterou je vytápěn během roku interiér a která dosahuje průměrných hodnot θ_{ai} cca 22 °C až 23 °C viz **Tabulka 14** kapitoly E.5.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období, kde

je patrná předmětná hodnota. Jedná se o mírně vyšší hodnotu, než se kterou uvažuje běžný normový výpočet.

E.5.4.1 Průměrná hustota tepelného toku

Objekt průměrně vykazuje během měsíců listopadu, prosince, ledna, února a překvapivě také března znatelnou tepelnou ztrátu. Lze pozorovat, že s výjimkou června, července a srpna tento trend, tedy ztráta, pokračuje, i když s daleko menšími hodnotami. Naopak v měsících červnu, červenci a srpnu je patrný tepelný zisk objektu.

Průměrné hodnoty vypovídají o opakovaně zmíněných akumulacích vlastnostech. Pokud se zaměříme na přechodové měsíce zjistíme, že byla domněnka o pozitivním přínosu hmotného pláště správná a je možné prohlásit, že přináší pozitivní zisky, které vedou ke snížení energetické náročnosti objektu. Pozitivní zisk lze částečně nalézt i v zimních měsících, pokud přihlédneme na maximální hodnoty viz kapitola *E.5.4 Analýza průběhu hustoty tepelného toku v celém předmětném časovém období*. Současně je bezpodmínečné se zaměřit na druhou stránku věci, a sice nežádoucí tepelný zisk, který vzniklou akumulací nastává, a to zejména v letních měsících. Je potvrzena i druhá domněnka ohledně potenciálně negativního přínosu hmotného pláště šikmé střechy v létě.

E.5.4.2 Maximální a minimální hustota tepelného toku

V návaznosti na průměrné hodnoty hustot tepelného toku je vhodné se zaměřit i na maximální a minimální hodnoty, které velkou mírou vypovídají o akumulacích schopnostech předmětného hmotného pláště. Jak je patrné viz **Tabulka 15**, dochází ve většině měsíců v rámci maximálních hodnot k dosažení kladných nebo „nulových“ hustot tepelných toků.

Informace dále rozšiřují a potvrzují domněnku ohledně přínosů hmotného pláště a jeho akumulacích schopností, kdy je možné pozorovat v přechodných měsících relativně značné maximální hodnoty. Současně se lze zaměřit i na minimální hodnoty v těchto měsících, které nehledě na zkoumaný časový úsek vykazují záporné hodnoty. Celkově informace o maximálních a minimálních hodnot tepelného zisku vedou ke zjištění, že každý měsíc vykazuje ztráty, bez ohledu na roční období.

Je vhodné, když jsou ztráty vyváženy zisky, nebo dané časové období vykazuje malé výkyvy mezi maximy a minimy. To má za následek relativně vhodné chování skladby jako takové, což je možné pozorovat zejména v přechodových měsících. Problémem jsou měsíce, kdy jsou v převaze zisky, což vede ke zmíněné akumulaci tepla. Ta i přes ztrátu, velmi pravděpodobně během nočních hodin či nízké solární dotace, nedokáže zisky vyrovnat. Dochází tak k nárůstu kontinuálního energie ve skladbě a přeneseně teplot v interiéru.

E.5.4.3 Hustoty tepelných toků a jejich hodnoty v čase

Počty dnů, at' ziskových, ztrátových, nebo neutrálních, dále rozšiřují poznání a potvrzují domněnku ohledně pozitiv a negativ hmotných pláštů šikmé střechy z hlediska akumulace.

V návaznosti na předchozí kapitolu ohledně zmíněného vykazování zisků a ztrát je velice zajímavé časové rozložení těchto hodnot u měsíců června a srpna. Pokud bychom se zaměřili čistě na časové informace ohledně například zisků zjistíme, že by měsíce měly v rámci průměrných hodnot opětovně vykazovat ztrátu a dosahovat záporných hodnot. Vzhledem k maximálním hodnotám hustoty tepelného toku tomu však tak není a je patrné, že se teplo opět akumuluje dovnitř konstrukce. Je tedy nutné delšího časového úseku pro eliminaci jeho nežádoucího působení, nebo alternativně provést stavební úpravu skladby či změnu koncepce užívání vnitřního prostředí. Z průběhů hustot tepelných toků během celého časového úseku možné shrnout následující.

- Je potvrzena domněnka ohledně pozitivního vlivu akumulčních schopností hmotného střešního pláště během přechodných měsíců a částečně i zimních měsíců. Skladba jako taková vykazuje buď hodnoty blížíící se nule (zimní měsíce), nebo vykazuje v jejich maximech zisky, které vedou k celkovému snížení energetické náročnosti objektu na jeho vytápění.
- Je potvrzena domněnka ohledně negativního vlivu akumulčních schopností hmotného střešního pláště během letních měsíců. Skladba jako taková vykazuje vyšší maximální zisky, které i přes vyšší časové zastoupení ztrátových hodnot nevedou k dostatečné eliminaci absorbovaného tepla a vedou k nežádoucímu nárůstu teploty interiéru.
- V letních měsících se viz předchozí bod silně projevuje zmíněná akumulční schopnost skladby. Díky časovému rozložení zisků, ztrát a neutrálních hodnot je možné, stále díky maximálním hustotám tepelným tokům, pozorovat v průměrných hodnotách kladné hodnoty, zisky. Jedná se o další potvrzení domněnky ohledně jak pozitivních, tak i negativních vlivů akumulčních schopností hmotného střešního pláště, který je pouze vyjádřen v časových jednotkách vztažených na dny.
- Předmětná akumulční schopnost vede díky výkyvům v maximálních a minimálních hustotách tepelných toků q také k nezanedbatelnému počtu neutrálních dnů, kdy objekt vykazuje nulové hustoty tepelného toku v rámci předmětné skladby. Předmětné časové úseky se ukazují jak v přechodných měsících, tak v letních měsících, kdy vyjadřují snahu konstrukce předat akumulované teplo do okolí.

E.5.5 Analýza průběhu teplot jednotlivých vrstev v zimním období

Z průběhů měsíčního i týdenního období viz **Graf 30** a **Graf 31** je možné pozorovat míru solárních zisků nepřímo vyjádřenou teplotou na DHV ${}_a\theta_{s,4}$ a horní ploště tepelného izolantu ${}_a\theta_{s,3}$. Zátěž se podepisuje na průběhu teplot na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu a je zachycena jak v rámci simulace, tak zejména skutečného průběhu teplot.

Je patrný rozdíl mezi simulací a skutečností, který je nejvíce vidět na jednotlivých výkyvech teplot během jejich časového průběhu, kdy dochází na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu k výkyvům teplot v řádech cca 4 °C. Výkyvy mají pravděpodobně původ v již zmíněném ochlazování konstrukce v interiéru a exteriéru pomocí proudění vzduchu. Pokud bychom danými průběhy proložili spojnicí trendů, dosahujeme velmi stejných průběhů, jak ostatně prokazuje kapitola *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*.

V zimním období je patrná a na jednotlivých průbězích měřitelná míra, kterou logicky ovlivňuje vnější prostředí teplotu na DHV a na tepelném izolantu. Dochází tak v nočních hodinách k daleko vyššímu poklesu teplot právě na vrstvě DHV. Toto se podepisuje v některých případech i na vrstvě horního tepelného izolantu, která taktéž dosahuje rozdílných teplot. Naopak při denních hodinách dochází ke značnému pozitivnímu růstu teplot vlivem solárního záření.

Změny teplot se dále prokreslují i do vrstvy rozhraní mezi tepelným izolantem a nosnou hmotnou konstrukcí. Pokud se zaměříme na hodnotu fázového posunu teplotního kmitu ψ , je možné zjistit, že dosahuje při prostupu tepelným izolantem průměrné hodnoty cca 6 hodin 20 minut, kdy hodnota byla, velmi problematicky, stanovena opět přes podobnost integrace plochy pod křivkou a hledáním nejvyšší podobnosti díky následnému posunu průběhu.

Problémem je prokreslení teplot na vrstvě rozhraní mezi nosnou hmotnou konstrukcí a omítkou/interiérem, kdy dochází k parciálnímu zkreslení výsledků vlivem vnitřního prostředí a není možné tak objektivně určit dobu fázového posunu teplotního kmitu ψ , který díky různým fyzikálním procesům mění v čase svou přesnou hodnotu.

Z průběhů viz **Graf 30** a **Graf 31** je relativně dobře patrný nárůst teploty na rozhraní materiálu vlivem akumulace zejména kolem data 13.01.2021 až 15.01.2021, kdy dochází k hromadění solárních zisků vlivem příznivého počasí. Tento jev se zobrazuje do průběhu teploty na rozhraní tepelného izolantu a nosné konstrukce, stejně jako do rozhraní nosné konstrukce a omítky/interiéru v podobě lokálního maxima k 16.01.2021 0:00. Z průběhů teplot jednotlivých vrstev v zimním období je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Dle průběhů teplot vnějšího prostředí je možné odhalit také chování teploty na rozhraní tepelného izolantu a nosného hmotného pláště s fázovým posunem teplotního kmitu ψ o hodnotě cca 6:20 hodiny. Hodnota se dynamicky mění různými fyzikálními procesy. Hodnota fázového posunu teplotních kmitů ψ je problematicky stanovitelná vzhledem k možnosti spuštění vytápění uživatelem.
- Je možné pozorovat při dostatečných solárních ziscích ${}_{chmi}RGLB_{10}$ doprovázených vyššími teplotami vnějšího prostředí ${}_{chmi}\theta_{el}$ akumulační vlastnosti, které jsou dobře patrné zejména kolem data 13.01.2021 až 15.01.2021, případně 02.01.2021 až 06.01.2021, kdy průměrné teploty ${}_{chmi}\theta_{el}$ dosahují dlouhodobě hodnot nad 0 °C. Dochází tak k postupnému nárůstu teplot ve skladbě, který má potenciál snížit energetickou náročnost objektu na jeho vytápění.
- Lze pozorovat na průběhu teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky/interiéru ${}_a\theta_{s1}$ krátké intenzivní výkyvy, které reprezentují impulzy ve formě energie dodávané do skladby pomocí vytápění interiéru. Je patrné, že pokud je teplota vnějšího prostředí ${}_{chmi}\theta_{el}$ příhodná a dochází k prohrátí skladby vlivem solárních zisků ${}_{chmi}RGLB_{10}$, jsou jednotlivé impulzy nevýrazné a amplituda jejich lokálního maxima je malá. Pokud teplota ve skladbě začne klesat, lze pozorovat nárůst těchto amplitud, například kolem data 11.01.2021 až 12.01.2021, kdy došlo ke značnému poklesu teplot interiéru ${}_a\theta_{ai1}$, který se projevil na průběhu teplot na rozhraní hmotné nosné konstrukce a interiéru ${}_a\theta_{s1}$.

E.5.6 Analýza průběhu teplot jednotlivých vrstev v letním období

Obdobně jako u průběhů zimního období je možné pozorovat viz **Graf 32** až **Graf 35** jednotlivé průběhy solárních zisků, které jsou opětovně vyjádřeny teplotou na DHV ${}_a\theta_{s4}$ a horním pláští tepelného izolantu ${}_a\theta_{s3}$. Současně si lze, například u měsíce července konkrétně data 12.07.2020 viz **Graf 32**, povšimnout značného výkyvu teplot jak ${}_a\theta_{s4}$, tak ${}_a\theta_{s3}$ v jejich průběhu, který dosahuje za pouhých 10 hodin rozdílu téměř 50 °C.

Z průběhů je opětovně patrný rozdíl mezi simulací a skutečností. Tentokrát dosahují jednotlivé průběhy v obou měsících a napříč všemi vrstvami velmi vysoké vzájemné podobnosti, která například u průběhů na rozhraní nosné konstrukce a izolantu dosahuje 97 % pravděpodobnosti. Opět je možné pozorovat, stejně jako v zimních měsících, výkyvy a odchylky simulace a skutečnosti. Ty dosahují v některých případech velkých divergencí, avšak všeobecně daleko lepší podobnosti než v jiných sledovaných časových úsecích.

Z průběhů teplot v letním období je velmi patrná míra, kterou ovlivňuje vnější prostředí ${}_{chmi}\theta_{el}$ a solární zisky ${}_{chmi}RGLB_{10}$ celou skladbu. Je možno přesně pozorovat výkyvy, které má vnější prostředí na předmětnou hmotnou nosnou konstrukci. Současně s průběhem, který má charakteristiku téměř pravidelných sinusoid opakujících se co 24 hodin lze pozorovat velmi dobře míru, kterou ovlivňuje hmotný plášť vnitřní prostředí. Z některých fází podrobného týdenního grafu je možné si viz **Graf 35** např. k datu 07.08.2020 až 14.08.2020 povšimnout akumulace tepla v nosném materiálu v míře, která následně dodává teplo do interiéru až do ranních hodin, kdy se

cyklus začíná opakovat. Pokud si povšimneme fenoménu, můžeme v obou vybraných kritických letních týdnech viz **Graf 34** a **Graf 35**, tedy 22.07.2020 až 29.07.2020 a 07.08.2020 až 14.08.2020, pozorovat trvalý nárůst teplot na rozhraní nosné konstrukce a omítky/interiéru $a\theta_{s1}$. Nárůst lze vidět po celou dobu vybraných úseků, a to i za předpokladu nižších denních teplot $chmi\theta_{e1}$, jak je patrné z týdne 07.08.2020 až 14.08.2020. Aniž by tak docházelo ke zkreslování výsledků teplot na rozhraních nosné hmotné konstrukce $a\theta_{s1}$ a $a\theta_{s2}$ je možné i přes postupný pokles teploty vzduchu $chmi\theta_{e1}$, teploty na DHV $a\theta_{s4}$ a teploty na horním povrchu tepelného izolantu $a\theta_{s3}$ pozorovat postupný vzrůst teplot. Je pravděpodobné, že při delším časovém úseku, kdy je kontinuálně zajištěna kombinace vysokých solárních zisků pláště $chmiRGLB_{10}$ a vyšší než pokojová teplota vzduchu $chmi\theta_{e1}$, dochází trvale k akumulaci tepla, které není možné efektivně odvádět a které hmotná konstrukce šikmého střešního pláště vyzařuje do ranních hodin do svého okolí, a to jak interiéru, tak exteriéru.

Opětovně lze pozorovat obdobné hodnoty fázového posunu teplotního kmitu ψ na rozhraní tepelné izolace a nosné hmotné konstrukce, které vykazují průměrné hodnoty cca 6 hodin 45 minut. Výsledek stanovený ze zimních měsíců je téměř totožný.

Přes stejnou metodu, tedy integrací plochy a následného posunu a hledání nejmenšího rozdílu, byla stanovena hodnota fázového posunu teplotního kmitu ψ pro rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky/interiéru, která vykazuje průměrnou hodnotu cca 1 hodinu 45 minut. Hodnota může být částečně zkreslena užíváním místnosti uživateli. Na rozdíl od zimních měsíců je však zkreslení minimální, a i přes problematičtější čtení je patrné. Z průběhů teplot jednotlivých vrstev v letním období je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Z průběhů teplot vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$ lze odhalit chování teploty na rozhraní tepelného izolantu a nosného hmotného pláště $a\theta_{s2}$ s průměrným fázovým posunem teplotního kmitu ψ o hodnotě cca 6:45 hodiny. Hodnota je téměř stejná jako u zimních měsíců a je pravděpodobné, že odpovídá všem měsícům.
- Dle průběhů teplot vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$ je možné odhalit chování teploty na rozhraní nosného hmotného pláště a omítky/interiéru $a\theta_{s1}$ s průměrným fázovým posunem teplotního kmitu ψ o hodnotě cca 1:45 hodiny. Lze uvažovat, že vzhledem k faktu jeho stanovení ze dvou měsíců odpovídá údaj celému zkoumanému období.
- I při nízkých solárních ziscích $chmiRGLB_{10}$ a vyšší teplotě vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$, než interiéru $a\theta_{ai1}$ jsou pozorovatelné akumulací vlastnosti z obou kritických zkoumaných týdnů. Teplota na obou rozhraních $a\theta_{s1}$ a $a\theta_{s2}$ díky hmotné nosné konstrukci šikmého pláště trvale roste a vede k postupnému přehřátí interiéru.
- Oproti zimním měsícům je skladba velmi kvalitně a intenzivně prohřívána vlivem solárních zisků $chmiRGLB_{10}$. Díky intenzitě, se kterou dochází k hromadění energie, jsou impulzy velmi výrazné, čemuž odpovídá i výrazná amplituda. Amplituda ve své intenzitě vzroste úměrně s nárůstem teplot ve vnějším prostředí $a\theta_{ai1}$.
- Díky akumulaci se i přes možný lokální pokles vnější teploty $chmi\theta_{e1}$ neprojeví výrazná změna teplot ani na rozhraní nosné konstrukce a omítky/interiéru $a\theta_{s1}$, ani na rozhraní nosné konstrukce a izolantu $a\theta_{s2}$.

E.5.7 Analýza průběhu teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích

Přechodové měsíce jsou z hlediska průběhů teplot viz **Graf 36** a **Graf 37** v jednotlivých vrstvách a jejich hodnot velmi zajímavé, zejména s přihlédnutím na měsíc duben viz **Graf 36**, kdy dochází shodou okolností k nejvyššímu rozdílu mezi maximálními a minimálními teplotami

napříč vrstvami, které doprovází značné průměrné i směrodatné odchylky a velice zajímavé hodnoty hustot tepelných toků q . Současně jsou na měsíci listopadu patrné velké teplotní spády s přibývajícím datem a blížící se zimou, které se projevují na celkovém chování a objevují se tak jevy z obou zkoumaných období. Aby bylo možno lépe definovat jednotlivé teplotní průběhy, jsou měsíce rozděleny do samostatných kapitol.

E.5.7.1 Průběh teplot měsíce dubna

Měsíc duben viz **Graf 36** a **Graf 38** je velmi podobný a v některých místech téměř totožný jako letní měsíce. Opětovně je možné pozorovat relativně vysokou podobnost průběhů na rozhraních konstrukcí sousedících s nosným hmotným pláštěm $a\theta_{s1}$ a $a\theta_{s2}$. Lze podotknout, že se měsíc vyjadřuje viz kapitola E.4.2 *Kompilace simulačního modelu* jednou z nejmenších podobností průběhů teplot na DHV a horním povrchu tepelného izolantu. Celková podobnost dosahuje téměř 92 %, kdy tato hodnota poukazuje na zmíněnou absenci zohlednění proudění vzduchu, což vede na divergenci.

V návaznosti na fakt nejvyšších výkyvů exteriérových teplot $chmi\theta_{e1}$ doprovázených značnými solárními zisky $chmiRGLB_{10}$ v tomto měsíci je možné pozorovat velmi vysoké skoky teplot během cca 10 hodin, kdy například k datu 01.04.2020 lze pozorovat výkyv od cca $-8,6$ °C po $31,4$ °C. Je vhodné podotknout, že výkyv není zdaleka nejvyšší. Výkyvy se opětovně podepisují na průběhu teplot napříč všemi vrstvami. Lze zaznamenat oba popsání mechanismy související s výhodnou akumulací tepla, tedy postupné zahřívání nosné hmotné konstrukce, kdy se hromaděná energie podepisuje na průběhu teplot na rozhraní s omítkou/interiérem $a\theta_{s1}$, tak i následného vychladnutí konstrukce, kdy je typické zejména datum od 11.04.2020 do 19.04.2020, kdy objekt nebyl z důvodů nepřítomnosti uživatelů vytápěn.

Je možné pozorovat velmi postupný pokles teplot, kdy je nejdříve využito již naakumulované teplo v nosné konstrukci. I když nejsou značné solární zisky, jak je patrné z průběhu teplot na DHV $a\theta_{s4}$ a tepelném izolantu $a\theta_{s3}$, umožňuje relativně příznivá teplota vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$ dlouhodobě udržet teplotu $a\theta_{ai1}$ nad 20°C. Problém však nastává k datu 13.04, kdy pokračuje trend nízkých solárních zisků a současně následného pádu teplot pod bod mrazu. Kombinace se velmi významně podepisuje na průběhu teplot jak na nosné hmotné konstrukci $a\theta_{s2}$, tak i na rozhraní omítky/interiéru $a\theta_{s1}$ a problematika je dále podpořena velmi nepříznivou kombinací vnějších vlivů k datu 14.04.2020 a 15.04.2020, kdy dosahují všechny předemné průběhy velmi nízkých teplot. Teplo, které hmotná konstrukce akumuluje, nadále nepokryje efektivně nepřízeň vnějšího prostředí a je možné pozorovat, že cca 4 dny po přerušení vnějšího vytápění vzniká již nekomfortní chladné prostředí s teplotou $a\theta_{ai1} < 17$ °C.

Po nepříznivém pádu teplot nastává k datu 15.04.2020 opět nárůst doprovázený významnou dávkou solárních zisků, což se společně se zmíněným fázovým posunem teplotního kmitu ψ opětovně podepisuje i na průběhu teplot na jednotlivých monitorovaných rozhraních. Opětovně se projevuje v přechodovém měsíci výhoda akumulačních schopností, kdy při dodávce tepla do skladby ve formě solárních zisků a příznivých teplotách absorbuje hmotná nosná konstrukce šikmého střešního pláště zisky a dokáže i bez vytápění držet relativně vhodnou teplotu $a\theta_{ai1}$ dosahující za vhodné kombinace výše zmíněných jevů i 20 °C, tedy komfortní teploty.

Akumulační schopnosti, které mohou za těchto vhodných kombinací faktorů solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ a příznivé teploty vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$ vést ke snížení energetické náročnosti objektu jsou dále patrné zejména z vybraného týdenního průběhu. Je možné si povšimnout velmi pozitivního vlivu kontinuálních příznivých faktorů na celkový průběh teplot na rozhraní nosné konstrukce a izolantu $a\theta_{s2}$, které od 01.04.2020 do 06.04.2020 rostou.

E.5.7.2 Průběh teplot měsíce listopadu

Měsíc listopad je viz **Graf 37** a **Graf 39** z hlediska chování skladby velmi zajímavým a vzhledem k delším časovým úsekům, kdy nedošlo k výraznějším solárním ziskům ${}_{chmi}RGLB_{10}$, velmi specifický a nepodobný jiným zkoumaným časovým úsekům. Stejně jako předchozí měsíc duben je i listopad viz kapitola *E.4.2 Kompilace simulačního modelu* charakteristický svou relativně vysokou divergencí mezi skutečným a simulovaným průběhem, která se projevuje zejména na vrstvách DHV a horním povrchu tepelného izolantu. Přesto celková podobnost dosahuje 91 %.

Pro listopad je typická absence solárních zisků, která je velmi patrná zejména z průběhu teplot na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu ${}_a\theta_{s2}$. Prvním takovým časovým úsekem je datum od 08.11.2020 do 17.11.2020. Lze pozorovat, že dochází dle průběhu teplot k velmi výraznému poklesu míry solárních zisků, které dlouhodobě nepřekročí hodnotu $160 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, kdy tato hodnota byla naměřena pouze během jednoho dne, jinak se hodnoty drží daleko nižších průběhů. V kombinaci s relativně nízkou teplotou vnějšího prostředí ${}_{chmi}\theta_{e1}$ se jev velmi významně podepisuje na průběhu teploty na rozhraní nosné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$, jak je ostatně patrné z grafu viz **Graf 37**. Během opět cca dvou dní dojde ke ztrátě akumulované energie, která není nadále dodávána do skladby. Na rozdíl od dubna, kde i přes značně nízké solární zisky byly jejich hodnoty místy až několikanásobné, se zde potýkáme s velmi malými dávkami energie, což vede k velmi nízkému průběhu teplot na rozhraní ${}_a\theta_{s2}$. Je se opět opakuje od data 24.11.2020 do 28.11.2020, kdy je patrná téměř identická odezva hmotné nosné konstrukce, včetně ztráty akumulovaného tepla. V obou případech teplo akumulované do hmotné konstrukce nadále nepokryje nepřizeň vnějšího prostředí, kterou tvoří nízké solární zisky a výrazný pokles teplot.

Nedochází k výpadku vytápění vlivem nepřítomnosti uživatelů, takže se absence nepodepisuje na teplotách rozhraní nosné konstrukce a omítky/interiéru ${}_a\theta_{s1}$. Lze si povšimnout stejného průběhu teploty z hlediska lokálních maxim amplitud při spuštění vytápění. Opětovně je nasnadě pozorovat nárůst teplot a dodávky solárních zisků do skladby samotné mezi daty 17.11.2020 až 19.11.2020, kdy solárními zisky nastává nárůst průběhu teploty ${}_a\theta_{s2}$ na rozhraní nosné konstrukce a izolantu o cca $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Díky tomu je patrná absence lokálních maxim amplitud, které jsou ze zimních měsíců typické pro vytápění objektu. Je je dalším důkazem pozitivního vlivu akumulačních schopností nosného hmotného střešního pláště šikmé střechy. Z průběhů teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích je možné shrnout následující dílčí závěry.

- U obou měsíců jsou patrné fázové posuny teplotního kmitu ψ , kdy lze na rozhraní tepelného izolantu a nosného hmotného pláště zachytit hodnotu cca 6:15 hodiny a na rozhraní nosného hmotného pláště a omítky/interiéru hodnotu cca 1:45 hodiny.
- Při absenci dostatečných solárních zisků ${}_{chmi}RGLB_{10}$ v kombinaci s nízkou teplotou vnějšího prostředí ${}_{chmi}\theta_{e1}$ dochází ke značnému poklesu teplot na rozhraní nosné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ s cca 1–2denním zpožděním. Pokles se po vyčerpání akumulované energie v nosné konstrukci velmi rychle projevuje i směrem k vnitřnímu prostředí, jak je patrné z měsíce dubna a z kritických vybraných týdnů.
- Je patrná závislost mechanismu a akumulačních vlastností nosného hmotného pláště na dodávce solární energie viz **Graf 37**, bez které se zvyšuje energetická náročnost objektu na vytápění. Pokud skladba není dostatečně kvalitně a intenzivně prohřívána vlivem solárních zisků, dochází k výraznému snížení teplot na rozhraních ${}_a\theta_{s2}$ a ${}_a\theta_{s3}$.
- Díky akumulaci je možné překonat cca 1–2 dny nepříznivé kombinace poklesu vnější teploty ${}_{chmi}\theta_{e1}$ a absence dostatečných solárních zisků ${}_{chmi}RGLB_{10}$. Stejně tak se ukazuje, na kolik je tedy mechanismus samotný závislý na solárních ziscích spíše než na teplotě vnějšího prostředí.

E.5.8 Analýza průběhu teplot v kritických datech

Kritické dny viz **Graf 40** a **Graf 41** se vyznačují jedněmi z nejnižších nebo naopak nejvyšších dosažených teplot v rámci vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$.

Pokud se zaměříme na první datum 12.02.2021 je patrné na kolik ovlivňují akumulční vlastnosti a z nich plynoucí solární zisky průběh teplot jak v interiéru $a\theta_{ai1}$, jak exteriéru $chmi\theta_{e1}$ a $a\theta_{s4}$. Pokud se podíváme na chování konstrukce před východem slunce je patrné, že teplo nahromaděné v samotné skladbě je již vyčerpáno a je možné pozorovat pokles teploty. S východem slunce se tato energie v kombinaci s vytápěním vnitřních prostor opět začíná do samotné skladby ukládat. Vidíme, že i přes pokles teplot na DHV $a\theta_{s4}$ a pod taškami $a\theta_{s5}$, který je velmi pravděpodobně způsoben prouděním vzduchu a tím ochlazování konstrukce není průběh dotčen. Po západu slunce je možné pozorovat v čas odpovídající fázovému posunu tepelného kmitu ψ na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu velmi výrazný pokles teplot. Projevují se zde velmi významně kladné jevy akumulčních vlastností hmotných pláštěů, které díky absorpci tepla posouvají vhodně nutnou dodávku tepla vytápěním do menších hodnot.

Opakem tohoto pozitivního jevu akumulace je však patrný nárůst teploty a předávání nevydaného tepla do vnitřního prostředí, jak je patrné k datu 28.07.2020. Lze si povšimnout, že se opět projevuje akumulční schopnost nosného hmotného pláště i s jednotlivými fázovými posuny teplotních kmitů ψ . Problém však nastává a je patrný již od ranních hodin ještě před východem slunce a dlouho po jeho západu, a sice vyšší teplota na rozhraní nosného hmotného pláště a tepelného izolantu $a\theta_{s2}$, než je tomu na rozhraní v interiéru $a\theta_{s1}$. To má za následek postupné předávání tepla i za nočních hodin, a pokud se zaměříme na jednotlivé průběhy, můžeme vidět, že teplota interiéru $a\theta_{ai1}$ za jediný den vzrostla. Je patrné, že akumulční schopnosti hmotných materiálů šikmých střež jsou v letních měsících značně problematické, zejména díky kombinaci vysokých solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ a vysokých teplot vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$. Současně je patrné, že akumulované zisky jsou vydávány dlouhodobě nazpět do interiéru i po přerušení přímého dopadu solárních zisků. Z průběhů teplot jednotlivých vrstev v kritických datech je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Z obou kritických dat jsou patrné akumulční schopnosti nosného hmotného pláště a následné předávání akumulované energie do interiéru.
- Z **Graf 40** je patrné, že v zimě dochází k výhodné akumulaci, která má při vhodných a dostatečných solárních ziscích $chmiRGLB_{10}$ potenciál velmi pozitivně ovlivnit energetickou náročnost na vytápění objektu.
- Z **Graf 41** je patrné, že v létě naopak dochází k nevýhodné akumulaci, která negativně ovlivňuje teploty vnitřního prostředí $a\theta_{ai1}$ i dlouhou dobu po zamezení dodávky solárních zisků $chmiRGLB_{10}$. To vede k předávání tepla v akumulátoru, v tomto případě hmotné konstrukci šikmé střežy, do vnitřního prostředí až do brzkých ranních hodin. Cyklus se poté začíná opakovat a do skladby se začíná ukládat teplo. Nárůst teplot interiéru $a\theta_{ai1}$ je patrný i během krátkého časového úseku.

E.5.9 Analýza histogramů za jednotlivé vybrané časové úseky

Jednotlivé histogramy viz **Graf 42** až **Graf 56** a jejich zakomponování bylo provedeno z důvodů lepšího pochopení samotných průběhů, kdy je četností použito zejména za účelem odhalení samotné funkcionality celého mechanismu.

E.5.9.1 Histogramy teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky

Histogramy viz **Graf 42** až **Graf 46** ukazují teploty na rozhraní nosné konstrukce a omítky/interiéru ${}_a\theta_{s1}$ a současně poukazují díky svému vzhledu na již řešený problém akumulace. Z jednotlivých měsíců a v korespondenci s izoliniemi pro předmětné místo je patrné vytváření pomyslné vlny hodnotami. Tato vlna se ve své velikosti z hlediska rozptylů, současně jako intenzitě či velikosti amplitudy výkyvů teplot v čase, mění. Za povšimnutí stojí její postupný vývoj. Již od měsíce ledna viz **Graf 42** jsou patrné oba extrémy, tedy minimální a maximální teploty zmíněné v kapitole *E.5.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období*, které, byť jsou spíše raritou, je nutné zohlednit. „Vlna“ hodnot se následně v čase postupně přesouvá z hlediska středu podle ročního období buď nižším teplotám, nebo naopak teplotám vyšším. Současně lze vidět řešené akumulační schopnosti, které stojí za kumulací vyšších teplot. Pokud se zaměříme na měsíce červenec a srpen viz **Graf 44** a **Graf 45** vidíme postupný nárůst teplot, která se zmenšuje ve svém rozsahu, a naopak stoupá ve své amplitudě/velikosti výkyvů.

Dále jsou patrné, zejména v měsíci lednu, dubnu i listopadu viz **Graf 42**, **Graf 43** a **Graf 46**, průměrné hodnoty a jejich zastoupení, kdy se opětovně projevuje předmětná akumulace, tentokrát ve svém pozitivním smyslu. Akumulační schopnost hmotného nosného pláště šikmé střechy udržuje teploty v pozitivním spektru a snižuje energetickou náročnost objektu na vytápění.

E.5.9.2 Histogramy teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu

Histogramy teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ viz **Graf 47** až **Graf 51** jsou z hlediska průběhu relativně podobné tomu, co lze vidět u předchozího rozhraní. Opětovně je patrné vytváření „vln“, které jsou tvarem velmi podobné. Je možné si však povšimnout značného posunu minimálních i maximálních teplot pro jednotlivé měsíce.

Lze pozorovat, že opět dochází k posunu četných intervalů teplot u letních měsíců směrem k vyšším teplotám. Díky akumulačním schopnostem hmotného materiálu je možné spatřit také postupné přesunutí četných intervalů o několik stupňů Celsia směrem k hodnotám přesahujícím 26 °C, což se stává pro letní měsíce problematické. Lze pozorovat mezi měsícem červencem a srpnem viz **Graf 49** a **Graf 50** postupný růst teplot, který vygraduje ve zmenšení rozsahu intervalů a nárůstu četnosti vyšších hodnot, tedy amplitudy/velikosti výkyvů.

Opětovně je definovatelný přínos akumulace hmotného pláště v přechodových měsících. Teploty vykazují z hlediska četnosti vyšší rozsah intervalů, avšak dle četnosti je patrná jasná početní převaha příznivých účinků akumulace tepla. Teplo je v těchto měsících následně předáváno do interiéru a vede ke snížení energetické náročnosti

E.5.9.3 Histogramy hustot tepelných toků

Z histogramů hustot tepelných toků ${}_a q_{kl}$ viz **Graf 52** až **Graf 56** jsou patrné závěry vytvořené v rámci jednotlivých průběhů teplot, izolinií a analýzy histogramů teplot na dílčích rozhraních.

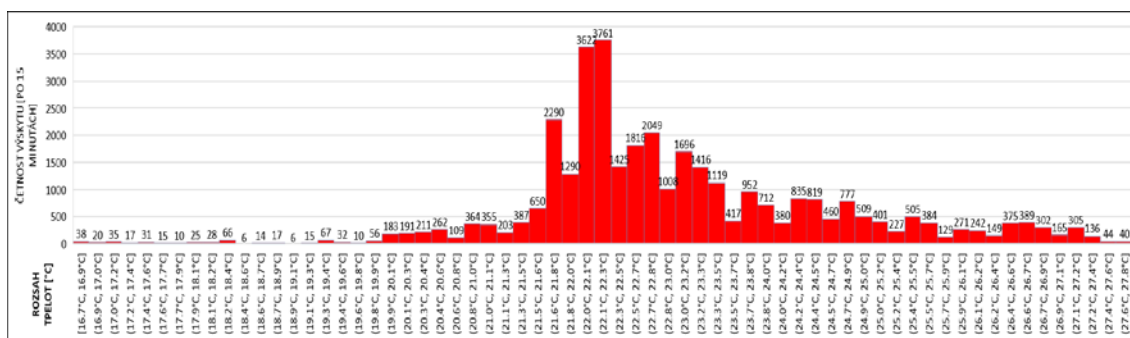
Opětovně lze spatřit v letních měsících postupný nárůst hustoty tepelného toku, který se ve své četnosti viditelně rozloží do zisků o vyšším intervalu a vyšší četnosti. Je zajímavé pozorovat, že vysoké zisky, jež vznikly na základě akumulace, jsou i v těchto měsících výrazně vyváženy ztrátami objektu. To má za následek předávání naakumulované energie do vnitřního prostředí během nočních hodin, který vede k postupnému nárůstu teplot v interiéru ${}_a\theta_{int}$.

Stejně jako histogramy teplot, tak i histogram hustoty tepelných toků v přechodových měsících poukazuje viz **Graf 53** a **Graf 56** na výhodu v letních měsících problematické akumulace hmotné konstrukce. To platí v měsíci dubnu viz **Graf 53**, který je významný viz kapitola *E.4.7 Průběh teplot jednotlivých vrstev v přechodových obdobích z hlediska teplot a*

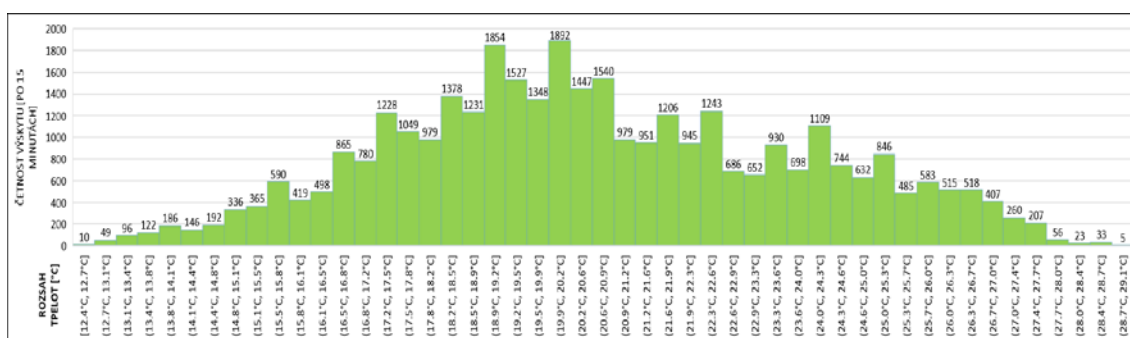
solárních zisků. Je patrné, na rozdíl od měsíce listopadu viz **Graf 56** vyznačujícího se naopak velmi nízkými solárními zisky, velmi příznivé působení akumulace, kdy dochází ke snížení ztrát v podobě vyššího počtu nižších rozsahů hustot tepelných toků blízcích se hodnotě nula. Lze pozorovat přesun těchto hodnot do kladných čísel. Z histogramů je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Histogramy teplot $a_{\theta_{s1}}$, $a_{\theta_{s2}}$ i hustot tepelných toků $a_{q_{kl}}$ dále poukazují jak na potenciální nevýhody, tak zejména na výhody hmotné nosné konstrukce šikmého střešního pláště napříč všemi jednotlivými časovými úseky.
- Z histogramů teplot $a_{\theta_{s1}}$, $a_{\theta_{s2}}$ je patrné vytvoření pomyslné „vlny“ vyjadřující nejčetnější zastoupení teplot. „Vlna“ se napříč zkoumanými vrstvami v čase posouvá. V rámci letních měsíců se tato „vlna“ zmenšuje z hlediska rozsahu intervalů, a zvyšuje v amplitudě, která vyjadřuje četnost. V zimních a přechodových měsících naopak dochází k rozmělnění „vlny“, což má za následek více rozsahů menší četnosti a snížení amplitudy/velikosti. Výsledek je kumulativní schopností hmotného pláště.
- Z histogramů hustot tepelných toků $a_{q_{kl}}$ je patrné vytvoření naprosto stejné „vlny“ z hlediska četností, která se chová v čase a z hlediska četností obdobně.

E.5.10 Analýza histogramů za celé roční období

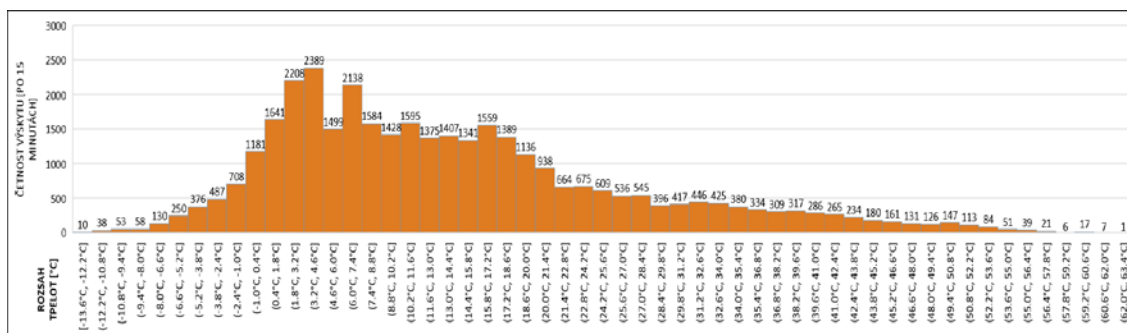


Graf 57 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a_{\theta_{s1}}$ – celý rok [32]

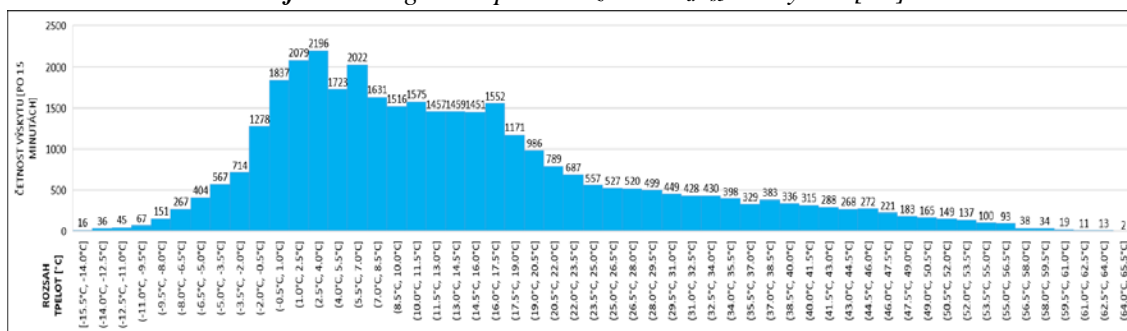


Graf 58 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a_{\theta_{s2}}$ – celý rok [32]

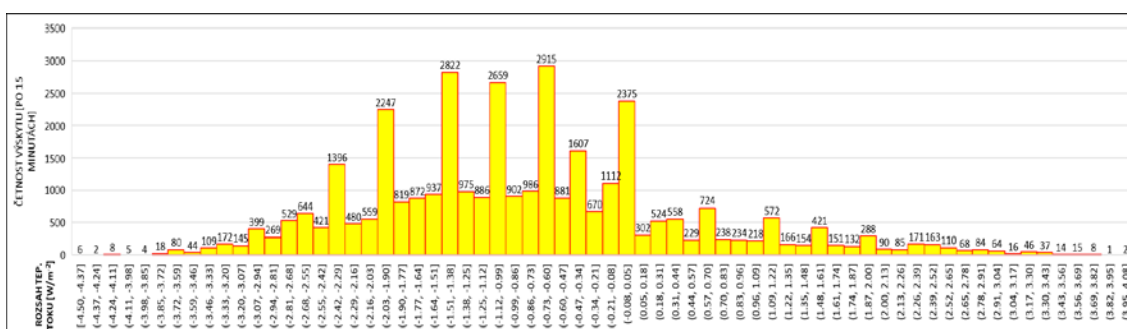
E. ZÁKLADNÍ SIMULACE A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ



Graf 59 Histogram teplot na izolantu $a\theta_{s3}$ – celý rok [32]



Graf 60 Histogram teplot na DHV $a\theta_{s4}$ – celý rok [32]



Graf 61 Histogram hustot tepelných toků aq_{kl} – celý rok [32]

Vzhledem k rozsahu měření bylo možné vytvořit histogramy pro všechny předmětné vrstvy $a\theta_{s1}$ až $a\theta_{s4}$. V návaznosti na minulou kapitolu slouží histogramy spíše než k popisu chování skladby v jednotlivých měsících k pochopení celkového mechanismu během celého předmětného zkoumaného období.

Jak lze vyčíst viz **Graf 57** až **Graf 60**, je možné si povšimnout vytvoření „vlny“ o vysoké amplitudě/velikosti tvořící se kolem průměrných hodnot naměřených na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky/interiéru $a\theta_{s1}$. Současně je patrné, že se „vlna“ při prostupu směrem k rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu rozmělní v četnosti jednotlivých rozsahů, což přesně kopíruje také histogram hustoty tepelných toků aq_{kl} viz **Graf 61**. Zajímavostí je pozorovat histogramy teplot pro dosud neřešené vrstvy, tedy horní povrchu tepelného izolantu $a\theta_{s3}$ a DHV $a\theta_{s4}$, kdy je nasnadě spatřit téměř totožné rozložení četnosti s pouze mírným rozličným rozložením hodnot, avšak tvarově téměř totožnou strukturou. Z histogramů za celé časové období je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Histogramy teplot $a\theta_{s1}$ až $a\theta_{s4}$ i hustot tepelných toků aq_{kl} dále poukazují jak na nevýhody, tak zejména na výhody hmotné nosné konstrukce napříč všemi

jednotlivými časovými úseky. Nadále se potvrzují jednotlivé domněnky z výše uvedených kapitol, a proto nebudou závěry dále rozvedeny.

Tato a předcházející kapitola odpovídá na otázky kladené v kapitole *C.1 Vytyčení cílů*, konkrétně poté plně na cíle 1 a poté částečně cíle 2 a 3. Celkové shrnutí a odpovědi na veškeré vytyčené cíle budou uvedeny v kapitole *G. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE*.

F. POKROČILÁ SIMULACE

- ❖ **F.1** Cíle pokročilé simulace a způsob jejich dosažení
- ❖ **F.2** Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce
- ❖ **F.3** Analýza změny materiálu nosné hmotné konstrukce
- ❖ **F.4** Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám
- ❖ **F.5** Analýza simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám
- ❖ **F.6** Simulace vlivu stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu
- ❖ **F.7** Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby

Minulá kapitola plně odpověděla na první cíl práce ohledně chování hmotné konstrukce a částečně také na další dva cíle vytyčené v kapitole *C.1 Vytyčení cílů*. Za účelem dosažení plné odpovědi na cíle další je nutné simulace adekvátně rozšířit. Na cíle ohledně změny nosné hmotné konstrukce a stavebních úprav hmotné skladby budou plně využity poznatky a analýzy viz kapitola *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace*, pouze s přizpůsobením modelu. Pro dosažení cíle ohledně vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám nám již model nebude stačit a bude nutné vytvořit model nový, který svými možnostmi odpovídá požadavkům na něj kladený.

F.1 Cíle pokročilé simulace a způsob jejich dosažení

Cílem pokročilé simulace je plná odpověď na cíle této disertační práce 2 až 4. Ačkoliv došlo již k částečné odpovědi na cíle 2 a 3 ohledně vlivu objemové hmotnosti a orientace vůči světovým stranám, je nutné pro objektivní závěry navázat na předchozí poznání a rozšířit jej.

F.1.1 Využitá hydrometeorologická a povětrnostní data

Pro rozšíření výzkumu lze opětovně využít veškeré podklady, které byly v rámci práce doposud shromážděny. Data a z nich vyplývající okrajové podmínky budou odpovídat svým rozsahem a podrobností pro dosažení cíle 2 a 4 již provedené simulaci v programu WUFI Pro 6.5 viz kapitola *E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací*.

Simulace v programu DesignBuilder vyžaduje další přípravu. Data budou dále rozšířena podle potřeb samotného vstupního formátu o teplotu rosného bodu, tlak a další. Parametry budou převzaty z informací měřicích stanic a měřicího zařízení instalovaného v rámci experimentálního objektu. Alternativně budou okrajové podmínky vhodně doplněny pomocí klimatických dat ze systému PVGIS („Photovoltaic Geographical Information System“) [129], který pracuje a disponuje potřebnými informacemi.

F.1.2 Způsob rozšíření simulace

Rozšíření simulace za účelem dosažení cíle 2 – zjištění vlivu změny hmotného materiálu a cíle 4 – vlivu stavebních úprav hmotné skladby bude provedeno na již testovaném modelu programu WUFI Pro 6.5. Model prokazatelně dosahuje ve své přesnosti přes 96 %, kdy hodnota byla zjištěna integrací ploch a následným porovnáním viz kapitola *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*. Model a poznatky z něj získané budou v plné míře použity a model samotný, respektive skladba v něm použitá bude vhodně upravena viz kapitola *F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce*. Postupem bude dosaženo série modelů, u nichž lze očekávat vysokou přesnost výsledků.

Pro rozšíření simulace za účelem dosažení cíle 3 – vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám je nutné sestavit model nový, který dokáže pracovat se změnou okrajových podmínek v rámci natočení objektu samotného. Model bude sestaven v programu DesignBuilder v nástavbě Simulace, kdy bude sestaven objekt EX_RD_2 Pohořelice. Před svým použitím bude model opětovně podroben srovnání a zjištění přesnosti, obdobně jako model programu WUFI Pro. Nedokonalosti softwaru byly shrnuty v kapitole *D.3.3 Výpočetní software DesignBuilder* a s divergencí modelu od skutečnosti je uvažováno. Pro naplnění cíle, kdy bude zjišťován procentuální nárůst či pokles teplot θ a hustoty tepelných toků q , je však přesnost dostatečná.

F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce

Kapitola zachycuje kompilaci modelů a výsledky simulací, při kterých byly v rámci dalšího pochopení chování hmotného pláště šikmé střechy simulovány různé materiálové varianty a jejich vliv na fungování skladby jako celku.

F.2.1 Kompilace modelů a materiálové varianty

Materiály s jinou/odlišnou objemovou hmotností ρ a z ní vyplývající objemovou tepelnou kapacitou κ a plošnou tepelnou kapacitou c_A budou s přihlédnutím na skutečnost odlišné porozity n_x materiálu vykazovat jiné mechanismy chování, které mohou zásadně poznamenat jak akumulaci tepla, tak i difúzní tok. Pro pochopení a porovnání těchto variancí byly vybrány typické hmotné materiály, kterými je možné pórobeton zabudovaný ve skladbě předchozí kapitoly nahrazen.

Nahrazení se týká vrstvy č. 2 viz **Tabulka 11** v kapitole *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*, tedy simulačního modelu, jež dosahuje 96,8 % přesnosti a shody se skutečností. Vzhledem k relativně omezeným možnostem vycházejícím z limitovaných materiálových variant byly vybrány celkem 4 možnosti.

Varianta 1 – železobeton o objemové hmotnosti $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, **Varianta 2** – železobeton o objemové hmotnosti $2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, **Varianta 3** – keramický polomontovaný systém s vložkami a probetonovanými žebry a **Varianta 4** – keramobetonový polomontovaný systém z panelů s probetonovanými žebry. Varianty představují nově vznikající simulační modely, jejichž výsledky budou analyzovány. Vlastnosti jednotlivých materiálů jsou patrné viz **Tabulka 16**. Pro vyšší přesnost je u keramobetonového systému zohledněna také nadbetonávka.

Změna předmětné vrstvy č. 2 nebude mít výrazný vliv na divergenci výsledků od reality a lze očekávat vysokou validitu výsledků. Toho je dosaženo díky přesnosti výchozího modelu a hmotného charakteru nahrazovaného materiálu za jiné, avšak také těžké konstrukce.

Var.	Název	Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Porozita n_x [-]	Měrná tep. Kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Faktor dif. odporu μ [-]	Zabud. vlhkost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Tl. d [m]
A	Železobeton 2300 ^a	2300	0,16	1020	1,43	179 ^b	100	0,2
B	Železobeton 2500 ^a	2500	0,18	1020	1,74	180 ^b	118	0,2
C	Keramické vložky + probeton. žebra ^a	800	0,6	850	0,87	15	100	0,2
D	Keramobetonové panely + probet. Žebra ^a	820	0,6	960	0,83	18	100	0,19
	Nadbetonávka ^a	1860	0,2	850	1,6	58	81,79	0,04

Pozn.

^a Veškeré informace byly zjištěny z technických listů výrobců a databázi Fraunhofer-IBP [112] + LTH Univerzity Lund [130].

Faktor difúzního odporu μ železobetonových vrstev je uvažován dle databáze LTH Univerzity Lund [130].

^b Hodnota odpovídá vysokému stupni preciznosti při výrobě panelů. Vzhledem k typu konstrukce lze předpokládat, že případný železobeton bude mít charakter prefabrikátu. Je tak možné uvažovat vysoké hodnoty.

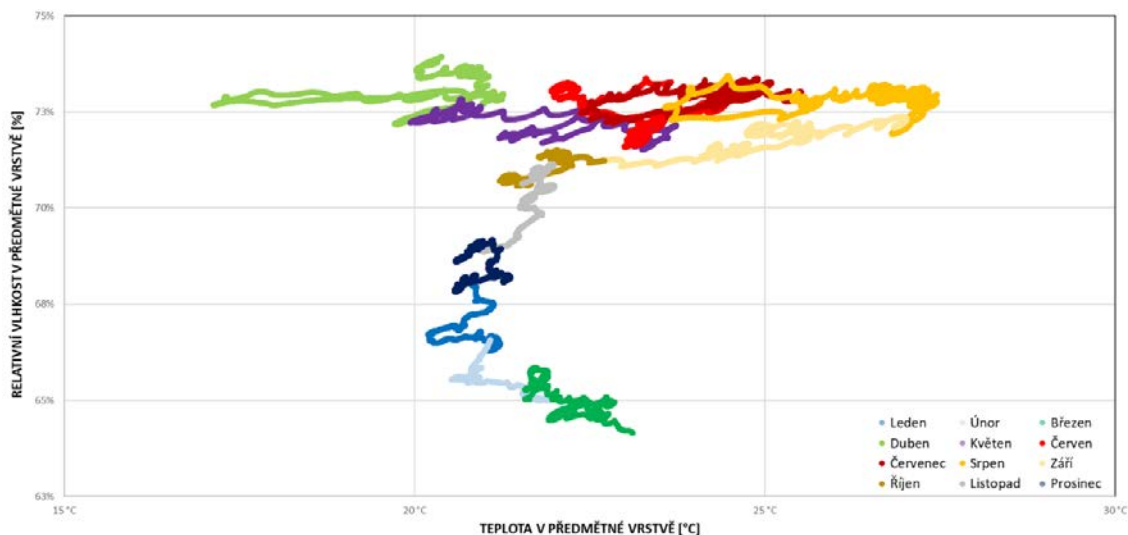
Var.	Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	Objemová tepelná kapacita κ [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$]	Plošná hmotnost ρ_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	Plošná tepelná kapacita c_A [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$]
A	0,108	5 307 690	515,304	518 583,5
B	0,108	5 511 690	555,304	559 383,5
C	0,107	3 641 690	215,304	185 383,5
D	0,106	5 329 890	285,504	262 191,5

Tabulka 16 Tabulka parametrů nových hmotných vrstev jednotlivých modelů [32]

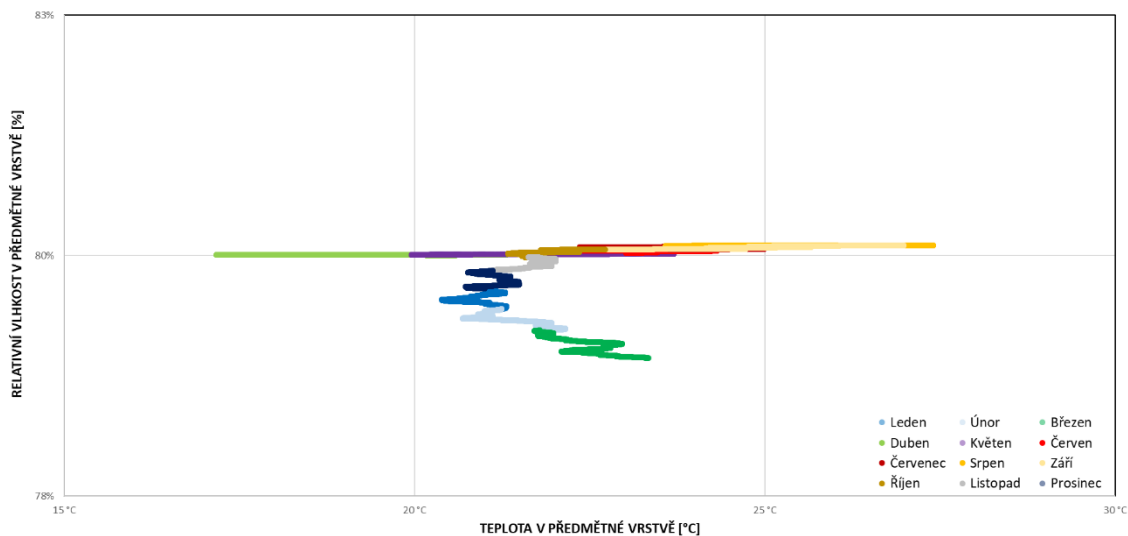
Ostatní vrstvy zůstávají beze změny oproti původnímu modelu odrážejícímu skutečné zpracování skladby. Stejně jako u kapitoly *E.4.2 Kompilace simulačního modelu* lze uvažovat se stejnými nepřesnostmi, idealizacemi a dále nemožností zohlednit změny rychlosti $chmi v_a$ a směru větru $chmi D$. Přesto lze uvažovat se stejnou podobností těchto modelů a případné skutečnosti. Pro vyjádření výsledků byly použity tytéž metody, jako u předchozí kapitoly, tedy izolinie, průběhy vlhkostí a průběhy teplot. Současně bude použito tabulky popisující teploty a vlhkost na rozhraní nosné hmotné konstrukce a tabulky zachycující průměrné hodnoty hustoty tepelných toků. U jednotlivých výsledků jsou vyjádřeny pouze hodnoty těchto nových vrstev.

F.2.2 Roční izolinie teplot a vlhkostí materiálových variant

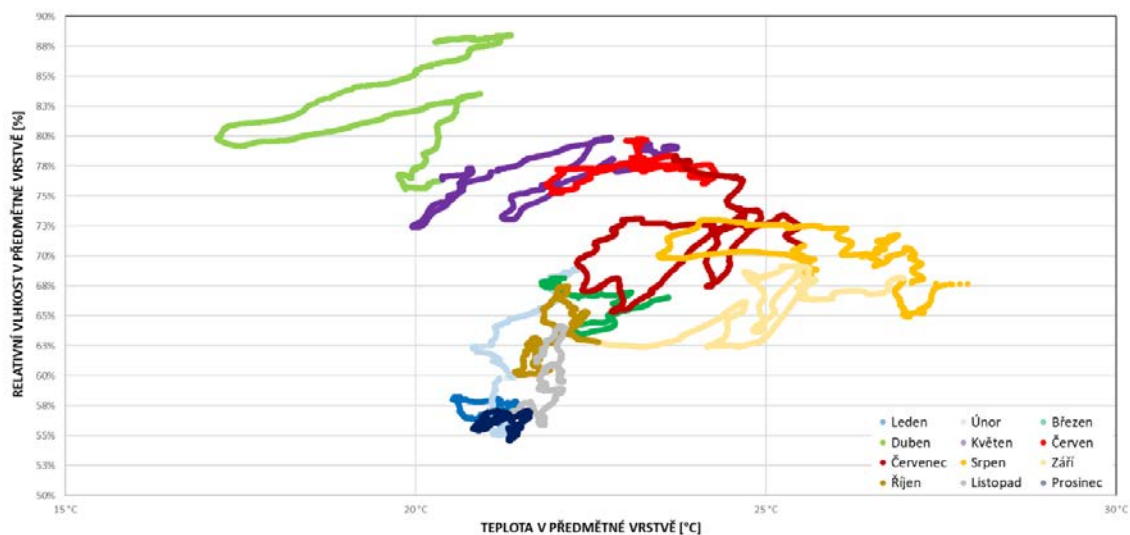
Obdobně viz kapitola *E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách* bylo přistoupeno k analýze a následnému zobrazení dat pomocí izolinií teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách. Vzhledem k relativně vysoké podobnosti navazujících konstrukcí na hmotné nosné pláště je vyobrazeno pouze vrstev bezprostředně souvisejících s těmito konstrukcemi. Data byla do grafů vnesena opět rozložením po 10 minutách.



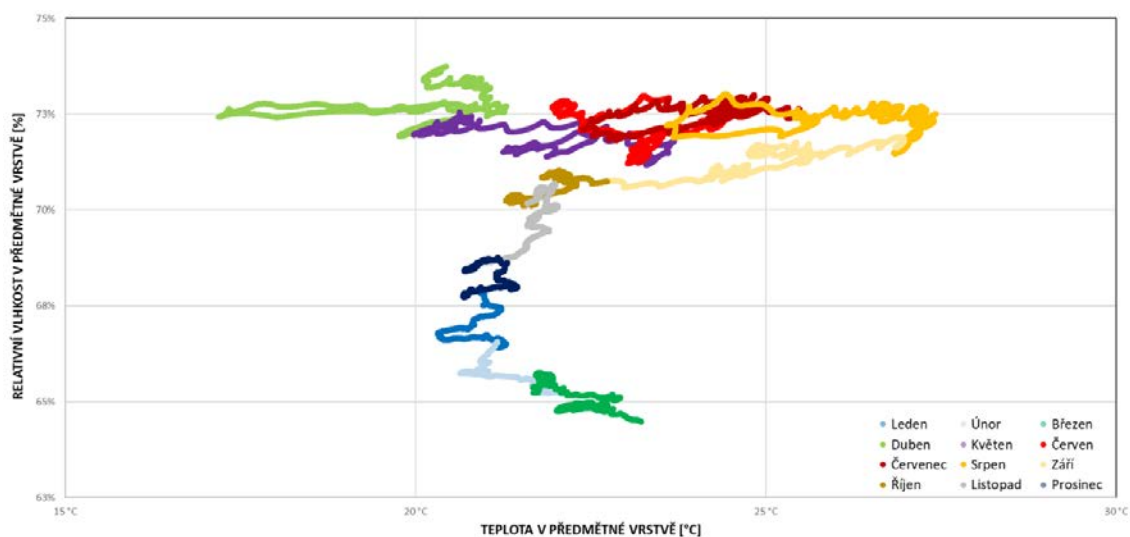
Graf 62 Varianta A – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]



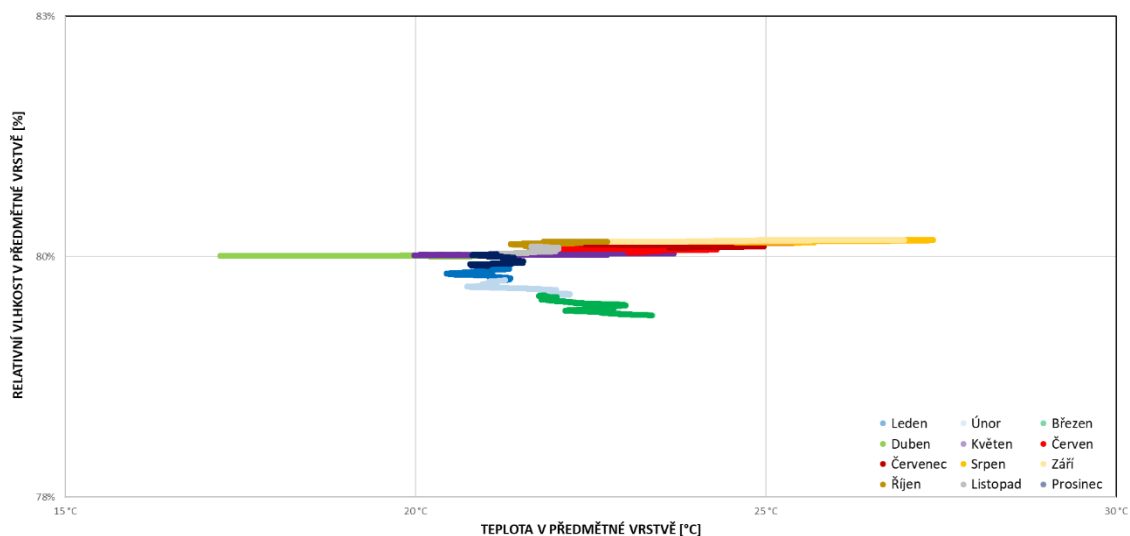
Graf 63 Varianta A – Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]



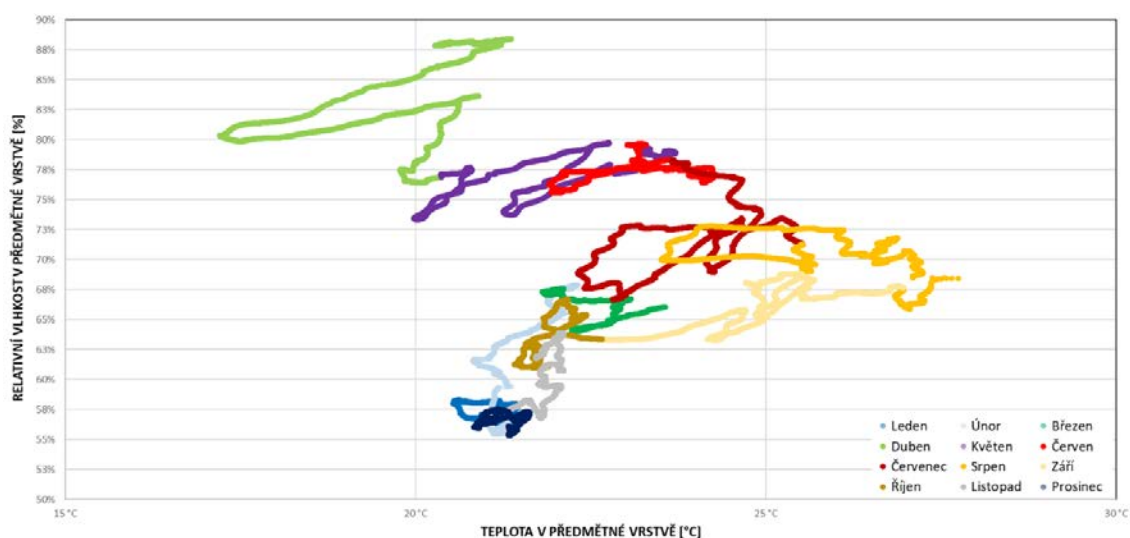
Graf 64 Varianta A – Izolínie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]



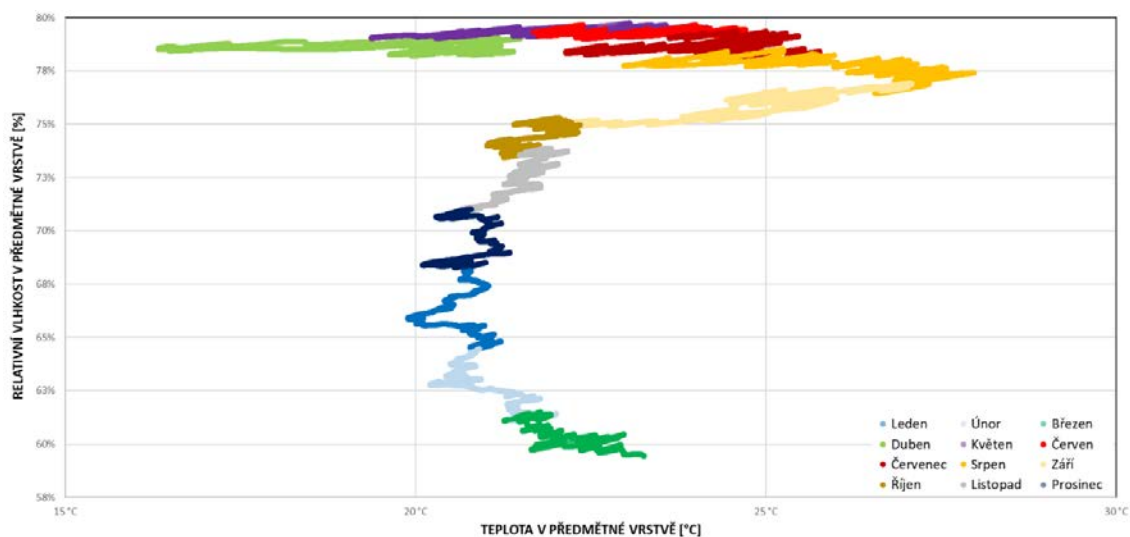
Graf 65 Varianta B – Izolínie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]



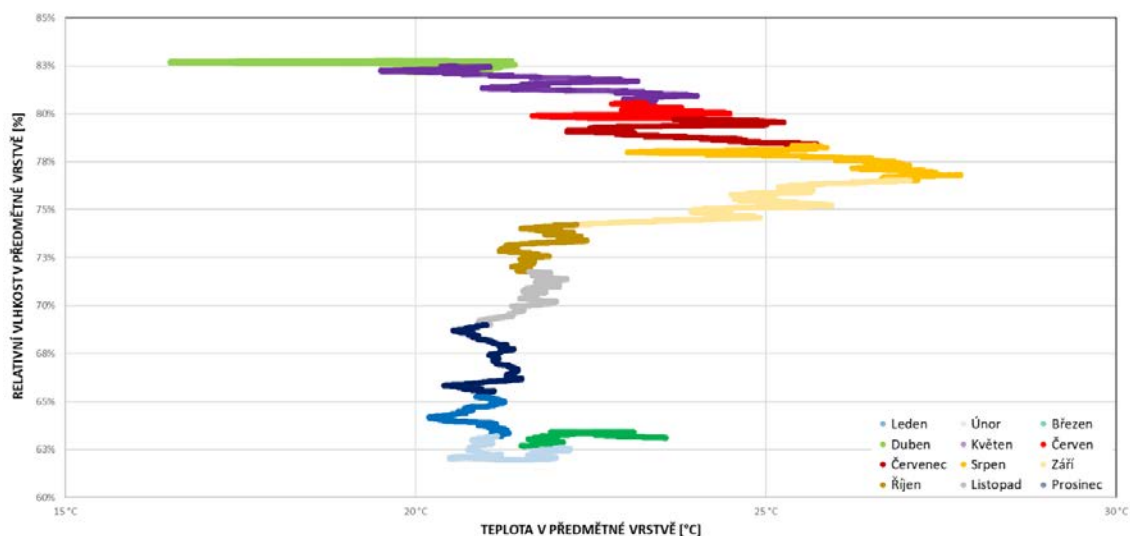
Graf 66 Varianta B – Izolínie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]



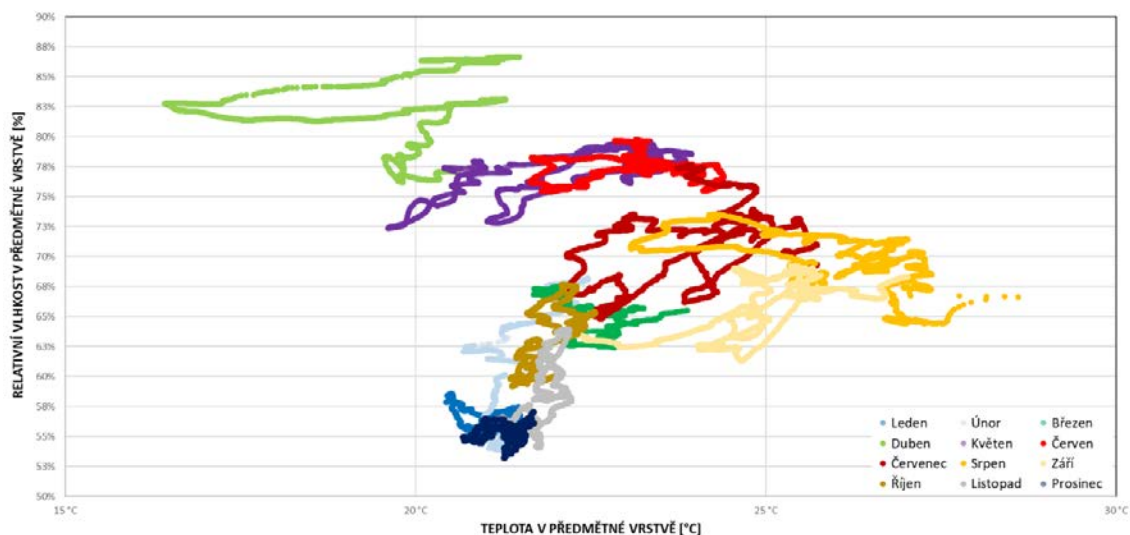
Graf 67 Varianta B – Izolínie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]



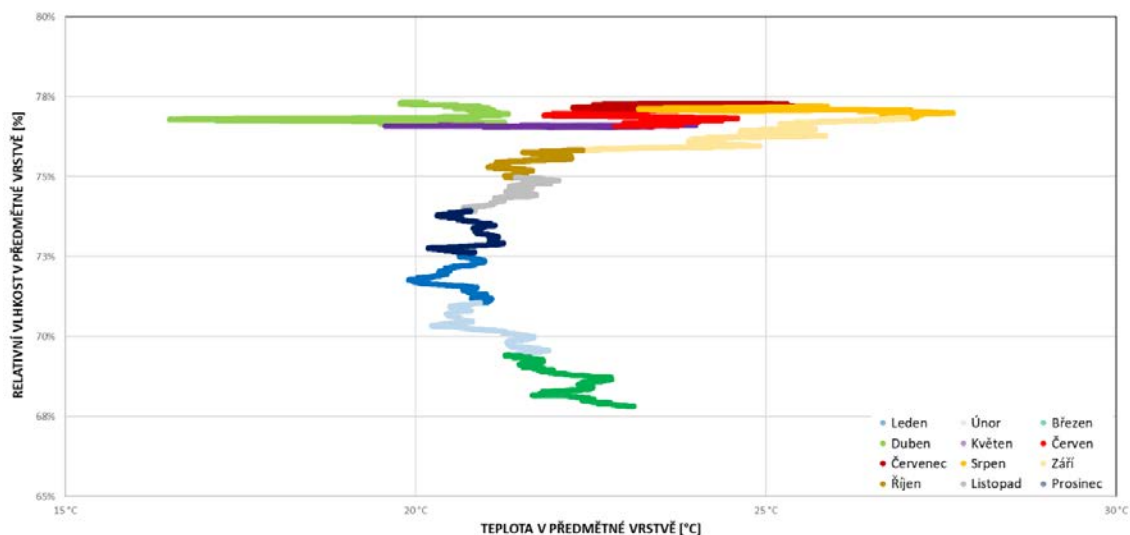
Graf 68 Varianta C – Izolínie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]



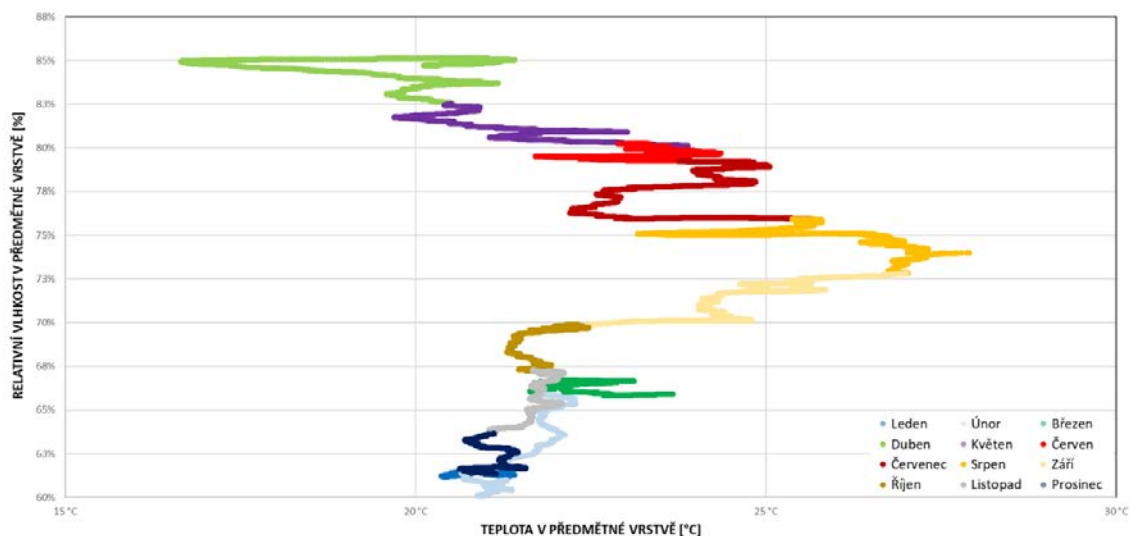
Graf 69 Varianta C – Izolínie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]



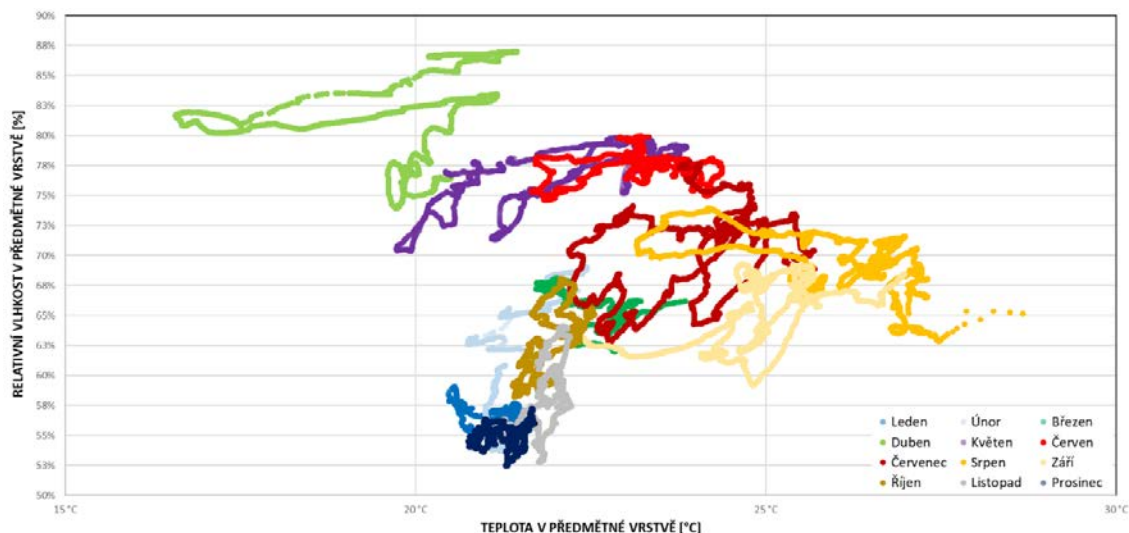
Graf 70 Varianta C – Izoliny teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]



Graf 71 Varianta D – Izoliny teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]



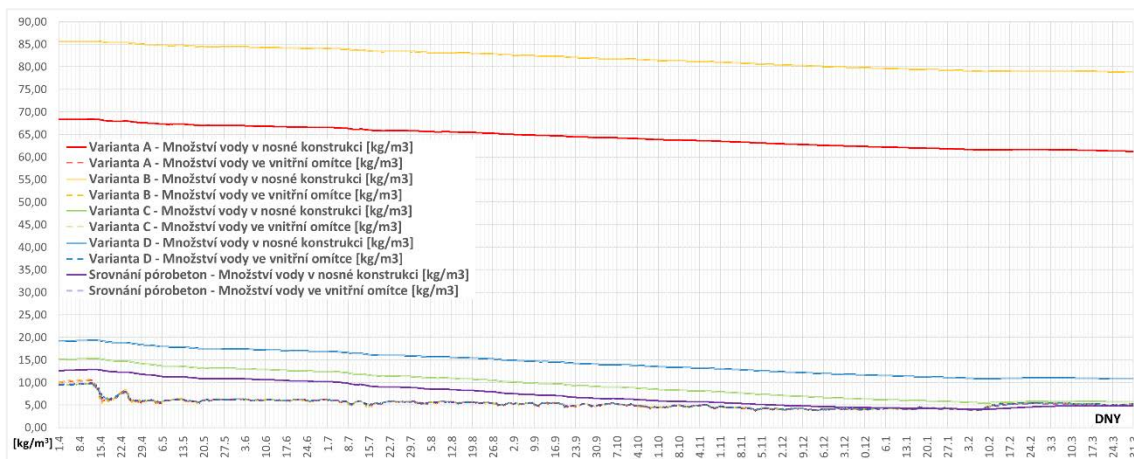
Graf 72 Varianta D – Izoliny teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]



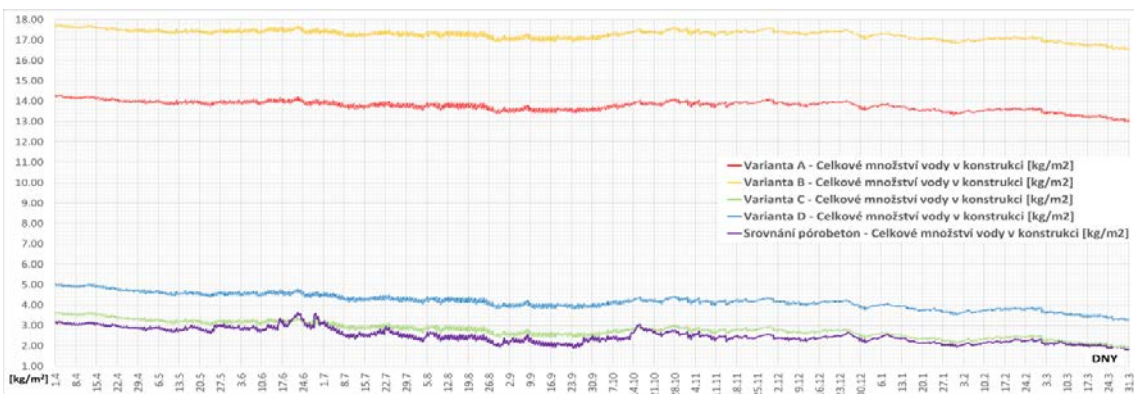
Graf 73 Varianta D – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]

F.2.3 Roční průběh vlhkosti

Pro hlubší pochopení rozdílů mezi jednotlivými hmotnými materiály bylo opětovně monitorováno množství vody, které proudí materiálem jak v důležitých vrstvách, tak i celku. Průběh je opětovně monitorován od okamžiku nastěhování investora.



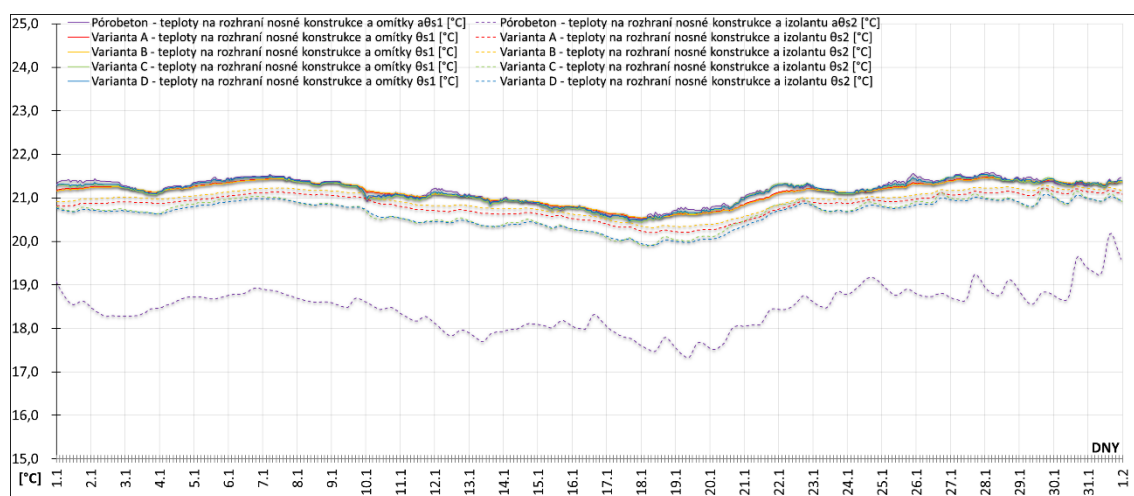
Graf 74 Množství vody v jednotlivých vrstvách [32]



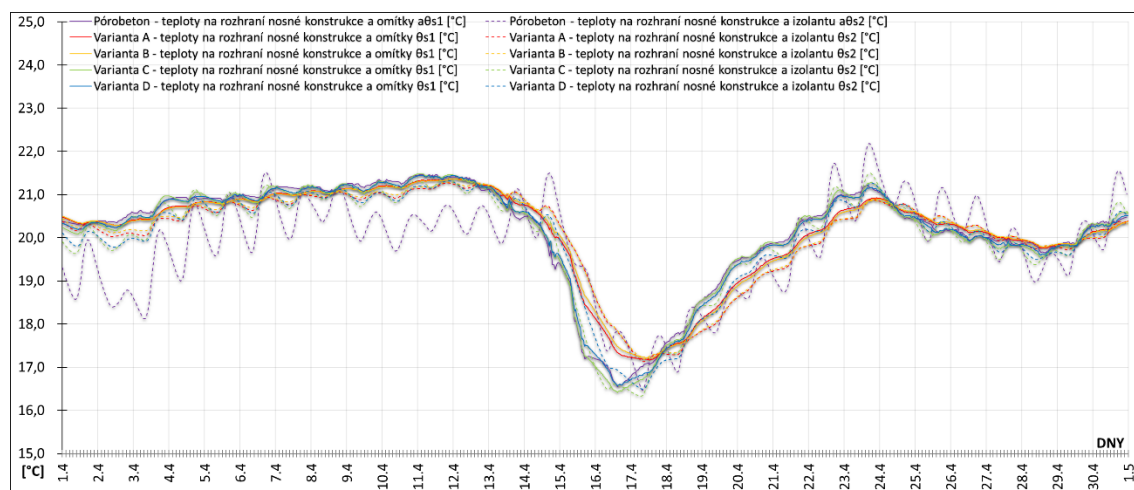
Graf 75 Celkové množství vody v konstrukci jednotlivých variant [32]

F.2.4 Průběh teplot materiálových variant ve vybraných časových úsecích

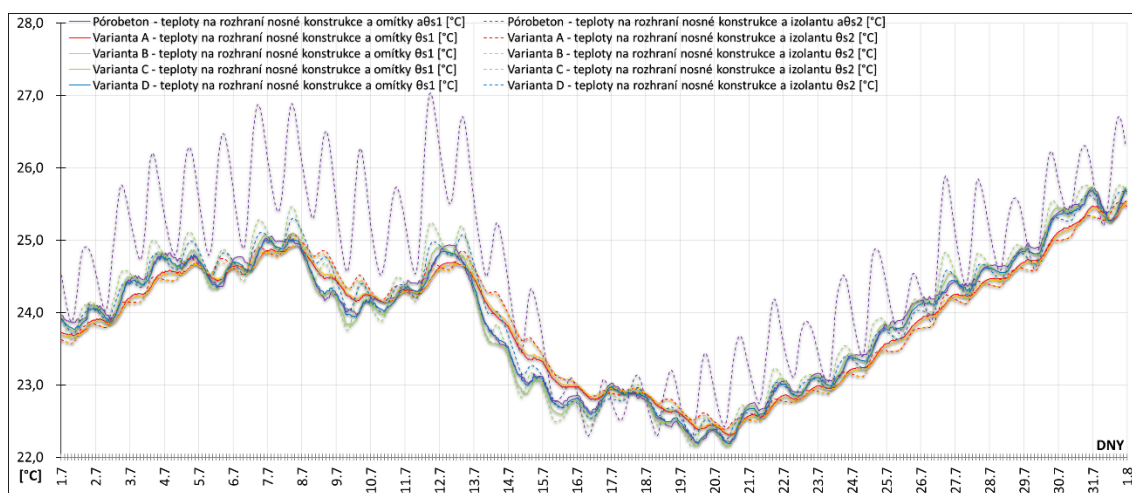
Analogicky k předchozí kapitole bude i v tomto případě vyobrazen průběh teplot v jednotlivých časových úsecích. Nebudou použita veškerá data a průběhy v jednotlivých obdobích budou zaměřeny pouze na teploty v jednotlivých rozhraních u různých materiálových variant, konkrétně θ_{s1} teplotu na rozhraní interiéru/omítky a hmotného pláště šikmé střechy a θ_{s2} teplotu na rozhraní hmotného pláště šikmé střechy a tepelného izolantu. Budou zachyceny pouze vybrané měsíce, konkrétně opět leden, duben, červenec, srpen a listopad. Vybrané grafy kapitoly F.2.4 Průběh teplot materiálových variant ve vybraných časových úsecích jsou pro lepší pochopení opětovně uvedeny viz Příloha č. 3.



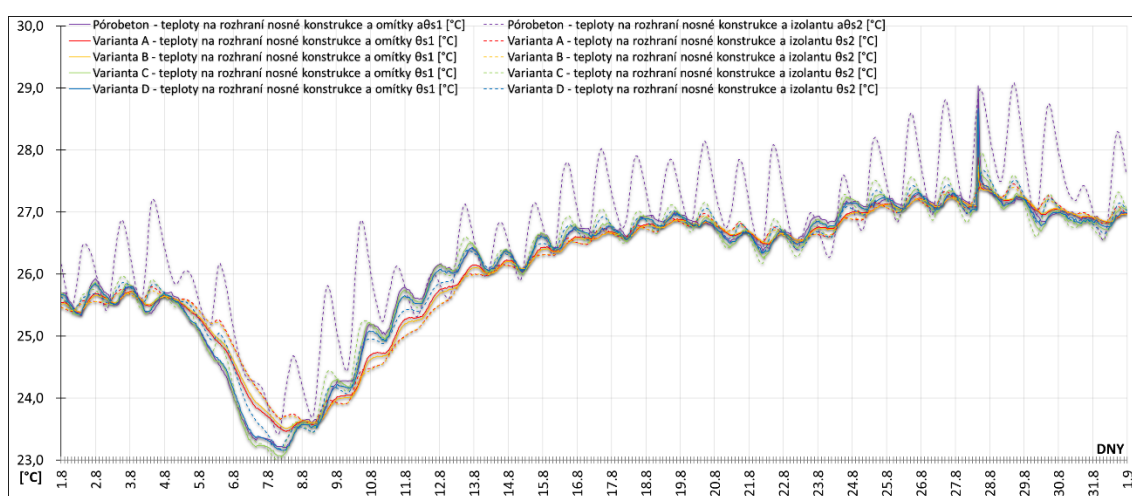
Graf 76 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc leden [32]



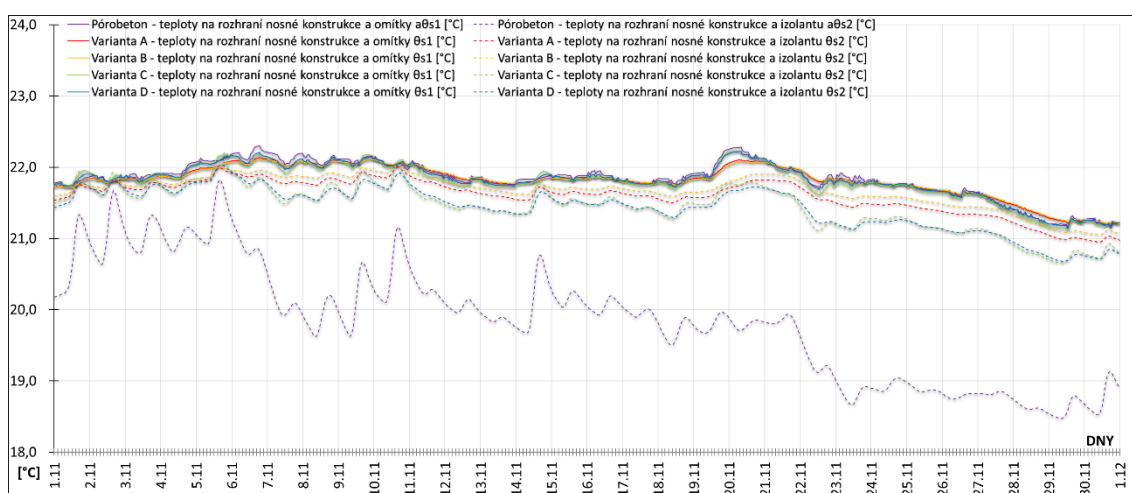
Graf 77 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc duben [32]



Graf 78 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc červenec [32]



Graf 79 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc srpen [32]



Graf 80 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc listopad [32]

F.2.5 Roční průběh teplot

Tabulky reprezentují teploty jednotlivých materiálových variant jak na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu θ_{s2} , tak analogicky k rozhraní nosné konstrukce a interiéru θ_{s1} .

Jsou zachyceny průměrné teploty (**Průměr** [°C]), medián (**Med.** [°C]), maximální teploty (**Max** [°C]), minimální teploty (**Min** [°C]), směrodatné odchylky (**Sm. Odch.** [°C]) a průměrné odchylky (**Odch.** [°C]).

Měsíc	NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT θ_{s2}						NOSNÁ KONSTRUKCE/INTERIÉR θ_{s1}					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	20,82	20,89	21,22	20,20	0,28	0,23	22,09	21,19	21,47	20,53	0,26	0,21
02	21,22	21,04	22,00	20,53	0,44	0,41	21,55	21,35	22,31	20,81	0,44	0,41
03	22,23	22,23	23,12	21,58	0,42	0,37	22,48	22,44	23,62	21,80	0,44	0,39
04	20,05	20,35	21,27	17,13	1,07	0,81	20,12	20,38	21,36	17,17	1,11	0,83
05	21,96	21,94	23,74	19,94	1,14	1,01	22,02	22,03	23,73	19,95	1,14	1,01
06	23,19	23,21	24,44	21,95	0,58	0,42	23,15	23,20	24,29	21,86	0,60	0,44
07	23,93	24,17	25,52	22,38	0,85	0,75	23,90	24,16	25,54	22,30	0,85	0,74
08	26,09	26,53	27,46	23,58	1,06	0,89	26,07	26,56	27,88	23,46	1,08	0,90
09	25,00	24,98	27,02	22,72	0,84	0,65	24,98	24,95	26,96	22,62	0,83	0,63
10	21,75	21,65	22,71	21,22	0,33	0,29	21,88	21,80	22,61	21,42	0,29	0,25
11	21,60	21,65	22,00	20,95	0,25	0,19	21,82	21,84	22,14	21,20	0,22	0,16
12	21,00	21,08	21,37	20,57	0,24	0,21	21,27	21,34	21,63	20,82	0,24	0,22

Tabulka 17 Varianta A – Tabulka analýzy teplot [32]

Měsíc	NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT θ_{s2}						NOSNÁ KONSTRUKCE/INTERIÉR θ_{s1}					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	20,92	20,99	21,29	20,32	0,27	0,22	22,09	21,18	21,46	20,54	0,26	0,21
02	21,33	21,13	22,10	20,64	0,44	0,41	21,55	21,34	22,31	20,82	0,44	0,41
03	22,31	22,30	23,22	21,68	0,42	0,37	22,48	22,45	23,57	21,82	0,43	0,38
04	20,08	20,35	21,29	17,19	1,07	0,81	20,12	20,39	21,36	17,21	1,09	0,82
05	21,97	21,96	23,70	19,98	1,14	1,00	22,01	22,01	23,71	19,97	1,14	1,00
06	23,18	23,21	24,39	21,95	0,58	0,42	23,15	23,21	24,26	21,90	0,60	0,44
07	23,91	24,15	25,48	22,39	0,84	0,74	23,89	24,16	25,52	22,32	0,84	0,73
08	26,07	26,53	27,42	23,59	1,06	0,89	26,06	26,56	27,75	23,51	1,07	0,90
09	25,01	24,97	26,97	22,74	0,83	0,64	24,99	24,95	26,96	22,66	0,83	0,63
10	21,80	21,71	22,73	21,29	0,32	0,28	21,89	21,80	22,66	21,42	0,29	0,25
11	21,68	21,71	22,03	21,05	0,23	0,17	21,82	21,84	22,12	21,21	0,22	0,15
12	21,09	21,17	21,45	20,68	0,24	0,21	21,27	21,34	21,63	20,83	0,24	0,21

Tabulka 18 Varianta B – Tabulka analýzy teplot [32]

Měsíc	NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT θ_{s2}						NOSNÁ KONSTRUKCE/INTERIÉR θ_{s1}					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	20,66	20,75	21,22	19,89	0,32	0,27	22,09	21,24	21,53	20,44	0,28	0,24
02	21,07	20,91	22,01	20,21	0,48	0,44	21,58	21,47	22,46	20,68	0,48	0,44
03	22,16	22,13	23,26	21,27	0,47	0,42	22,52	22,47	23,88	21,68	0,48	0,42
04	20,00	20,28	21,50	16,33	1,24	0,91	20,11	20,43	21,48	16,42	1,25	0,91
05	22,03	22,04	24,16	19,37	1,21	1,08	22,08	22,16	23,94	19,61	1,18	1,06
06	23,20	23,20	24,71	21,69	0,68	0,53	23,15	23,20	24,40	21,63	0,67	0,50
07	23,99	24,14	25,76	22,15	0,98	0,84	23,92	24,10	25,73	22,15	0,93	0,80
08	26,13	26,53	27,97	22,98	1,13	0,90	26,09	26,53	28,60	23,07	1,13	0,91
09	24,84	24,91	27,08	22,23	0,94	0,73	24,87	24,88	27,02	22,30	0,89	0,67
10	21,62	21,54	22,34	21,02	0,35	0,30	21,85	21,78	22,57	21,35	0,30	0,25
11	21,45	21,50	22,17	20,66	0,33	0,26	21,80	21,83	22,23	21,11	0,26	0,19
12	20,84	20,91	21,35	20,10	0,28	0,23	21,26	21,32	21,70	20,67	0,27	0,23

Tabulka 19 Varianta C – Tabulka analýzy teplot [32]

Měsíc	NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT θ_{s2}						NOSNÁ KONSTRUKCE/INTERIÉR θ_{s1}					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	20,63	20,71	21,08	19,91	0,31	0,26	22,10	21,24	21,54	20,47	0,28	0,23
02	21,02	20,84	21,90	20,24	0,47	0,43	21,59	21,45	22,45	20,74	0,47	0,43
03	22,11	22,09	23,12	21,28	0,45	0,40	22,52	22,48	23,86	21,72	0,47	0,41
04	20,00	20,26	21,32	16,49	1,19	0,88	20,11	20,40	21,45	16,57	1,22	0,90
05	22,00	21,91	24,00	19,57	1,19	1,06	22,07	22,14	23,87	19,72	1,17	1,05
06	23,20	23,20	24,59	21,83	0,64	0,49	23,15	23,19	24,37	21,66	0,66	0,49
07	23,98	24,14	25,68	22,25	0,94	0,81	23,92	24,10	25,70	22,19	0,91	0,79
08	26,12	26,55	27,67	23,19	1,10	0,89	26,08	26,55	28,66	23,16	1,12	0,91
09	24,88	24,93	27,02	22,39	0,91	0,70	24,90	24,89	26,98	22,35	0,88	0,66
10	21,62	21,54	22,38	21,04	0,34	0,30	21,87	21,79	22,55	21,38	0,29	0,25
11	21,44	21,49	22,04	20,68	0,31	0,25	21,82	21,85	22,22	21,14	0,25	0,18
12	20,82	20,89	21,25	20,18	0,27	0,23	21,28	21,34	21,71	20,75	0,26	0,23

Tabulka 20 Varianta D – Tabulka analýzy teplot [32]

F.2.6 Roční hodnoty hustoty tepelných toků materiálových variant

Měsíc	VAR. A – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. B – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů – [-]	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů – [-]
01	-2,13	-2,21	0,10	-2,99	0,063	30,938	-2,15	-2,22	0,09	-3,01	0,063	30,938
02	-2,35	-2,38	-1,16	-3,22	0,000	28,000	-2,37	-2,39	-1,17	-3,24	0,000	28,000
03	-1,62	-1,73	1,44	-2,83	0,667	30,333	-1,63	-1,74	1,44	-2,85	0,667	30,333
04	-0,47	-0,65	3,26	-2,92	10,448	19,552	-0,47	-0,66	3,27	-2,95	10,458	19,542
05	-0,10	-0,43	3,94	-2,17	12,156	18,844	-0,11	-0,44	3,97	-2,19	12,125	18,875
06	0,31	-0,01	4,29	-1,45	17,119	15,094	0,31	-0,01	4,32	-1,46	17,098	15,115
07	0,44	0,15	4,81	-1,72	16,500	14,500	0,44	0,15	4,84	-1,74	16,500	14,500
08	0,32	-0,07	4,78	-2,03	14,958	16,042	0,32	-0,08	4,82	-2,48	14,896	16,104
09	-0,22	-0,66	3,65	-2,21	10,615	19,385	-0,23	-0,66	3,67	-2,22	10,583	19,417
10	-1,04	-1,18	1,99	-2,05	2,000	29,000	-1,04	-1,18	2,01	-2,06	2,000	29,000
11	-1,61	-1,74	1,38	-2,96	1,510	28,490	-1,63	-1,76	1,39	-2,98	1,510	28,490
12	-1,89	-1,98	0,17	-2,89	0,083	30,917	-1,90	-1,99	0,17	-2,91	0,083	30,917
				Suma dnů	86,12	281,09				Suma dnů	85,983	281,23

Tabulka 21 Varianta A+B – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Měsíc	VAR. C – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. D – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů – [-]	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů – [-]
01	-2,12	-2,19	0,07	-2,96	0,052	30,948	-2,11	-2,18	0,10	-2,96	0,063	30,938
02	-2,34	-2,37	-1,17	-3,18	0,000	28,000	-2,33	-2,36	-1,15	-3,18	0,000	28,000
03	-1,61	-1,72	1,38	-2,81	0,615	30,385	-1,60	-1,71	1,42	-2,80	0,677	30,323
04	-0,48	-0,66	3,12	-2,89	10,302	19,698	-0,46	-0,64	3,19	-2,89	10,469	19,531
05	-0,13	-0,45	3,82	-2,11	11,948	19,052	-0,11	-0,43	3,89	-2,13	12,125	18,875
06	0,29	-0,03	4,15	-1,42	17,056	15,156	0,31	-0,01	4,21	-1,42	17,108	15,104
07	0,42	0,14	4,68	-1,63	16,438	14,563	0,44	0,15	4,75	-1,68	16,490	14,510
08	0,31	-0,07	4,64	-1,96	15,021	15,979	0,32	-0,07	4,71	-2,00	15,031	15,969
09	-0,20	-0,63	3,54	-2,12	10,667	19,333	-0,21	-0,64	3,60	-2,15	10,656	19,344
10	-1,02	-1,15	1,97	-2,01	1,990	29,010	-1,02	-1,16	2,00	-2,02	2,021	28,979
11	-1,59	-1,72	1,33	-2,92	1,500	28,500	-1,59	-1,72	1,36	-2,92	1,510	28,490
12	-1,87	-1,96	0,12	-2,83	0,073	30,927	-1,86	-1,95	0,16	-2,84	0,083	30,917
				Suma dnů	85,66	281,55				Suma dnů	86,23	280,98

Tabulka 22 Varianta C+D – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Jsou zachyceny průměrné hustoty tepelných toků (**Prům. H.T.T.**), medián hustoty tepelných toků (**Med. H.T.T.**), maximální hustoty tepelných toků (**Max H.T.T.**), minimální hustoty tepelných toků (**Min H.T.T.**), počty dnů vykazujících zisk (**Počet dnů +**) a počet dnů vykazujících ztrátu (**Počet dnů -**).

F.3 Analýza změny materiálu nosné hmotné konstrukce

Následující kapitolou jsou reprezentována data v nezbytném rozsahu pro pochopení mechanismu změny materiálového řešení. Analýza byla opětovně jako u kapitoly *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace* provedena pomocí tabulkového editoru Excel v kombinaci s vizuálním sledováním jednotlivých kritických průběhů.

F.3.1 Analýza ročních izolinií teplot a vlhkostí

Využití grafů izolinií se opětovně ukázalo jako vhodné. Před zpracováním byla provedena předběžná analýza, která ukázala, že majoritní většina výsledků s logickou výjimkou vrstev, které bezprostředně souvisí s hmotnou nosnou konstrukcí, je dle průběhu téměř nerozeznatelná od kapitoly *E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách*. Jiné vrstvy nejsou změnou materiálu zásadně poznamenány a směrem k exteriéru je ovlivnění skladby změnou materiálu velmi nevýrazné. Z toho důvodu byly vybrány pouze vrstvy viz kapitola *F.2.2 Roční izolinie teplot a vlhkostí materiálových variant*. Rozložení dat po 10 minutách se ukázalo opět jako vhodné.

F.3.1.1 Izolinie na rozhraní izolantu a nosné konstrukce

Z grafů viz **Graf 62**, **Graf 65**, **Graf 68** a **Graf 71** je na první pohled jasně patrný rozdíl mezi jednotlivými materiály, zejména poté mezi železobetonem variant A + B a keramikou variant C a D. Pokud se předně zaměříme na železobetonový materiál obou hmotností zjistíme, že jsou ve svých tvarech téměř totožné. Varianta B vykazuje oproti variantě A menší rozdíly mezi výkyvy relativní vlhkosti v předmětné vrstvě, což má za následek větší množství záměsové či zabudované vody, kterou materiál disponuje. Rozdíl je zanedbatelný.

Varianty A + B viz **Graf 62** a **Graf 65** vykazují výraznější a chaotičtější průběhy teploty a vlhkosti, než je tomu například u pórobetonu. Izolinie výrazně mění svůj tvar vlivem vnitřního mechanismu přenosu tepla a difuzního toku na povrchu materiálu, který má za následek vzájemné prolínání průběhu izolinií zejména v letních měsících. V porovnání s ostatními variantami se železobeton vykazuje napříč zkoumaným časovým úsekem nejvyššími hodnotami relativní vlhkosti, což je opět následek nejvyššího množství záměsové vody. Současně je výkyv relativní vlhkosti v průběhu zkoumaného roku relativně nízký a dosahuje rozdílu pouhých 10 %. Teoreticky je možné konstatovat, že průběhy v čase budou s ubývajícím vlhkostí ve svém tvaru ustalovat a více se podobat například průběhu keramiky varianty C. Lze si kromě výkyvů relativní vlhkosti povšimnout výkyvů v ose teplot, která dosahuje nižších minim a maxim v čase o hodnotách 17,21 °C až 27,42 °C. Tento fakt je velmi pravděpodobně způsoben akumulací tepla vlivem objemové tepelné kapacity κ a součinitele tepelné vodivosti λ .

Varianty C a D disponující keramickým materiálem jsou ve tvaru průběhu izolinie daleko více ustálené a změna tvaru v čase má v rámci jednotlivých měsíců celkem ustálenou podobu. Opětovně je patrný difuzní tok. Na rozdíl od železobetonu se keramika varianty C pohybuje v daleko větších výkyvech relativní vlhkosti napříč rokem dosahujících hodnot rozdílu relativních vlhkostí 20 %. Tento jev má za následek menší množství záměsové vody a její vyšší proudění materiálem. Jednotlivé měsíce jsou tvarem a pozicí u obou variant C a D v grafu vzájemně jasně

odděleny a vzájemně se neprolínají. Výkyvy v ose teplot dosahují oproti železobetonu vyšších minim a maxim v čase o hodnotách 16,34 °C až 27,96 °C. Fakt je velmi pravděpodobně způsoben opět akumulací a z ní vyplývající objemové tepelné kapacitě κ , současně jako odlišnému součiniteli tepelné vodivosti λ .

Kompromisem mezi jednotlivými materiálovými variantami je z hlediska průběhu a s přihlédnutím k výkyvům v relativní vlhkosti napříč rokem varianta D keramobeton. Varianta v sobě kombinuje příznivé vlastnosti železobetonu, jmenovitě menšího rozdílu relativních vlhkostí v čase o hodnotě cca 9 %. Na průběhu se značně promítá výrobní postup samotných panelů, který vede k nižšímu procentu záměsové vody v horním povrchu. Současně je oproti variantám A + B již průběh izolinií ustálený a vyznačuje se primárně změnami teplot v jednotlivých měsících, a nikoliv výraznou změnou relativní vlhkosti na vnějším povrchu konstrukce. Lze pozorovat evaporaci vlhkosti z materiálu samotného zejména od měsíce října. Při zaměření se na výkyvy v ose teplot můžeme zaznamenat obdobné hodnoty, jako u varianty C, tentokrát o číslech 16,49 °C až 27,7 °C. Jev lze připsat akumulaci a tepelné vodivosti.

F.3.1.2 Izolinie v polovině nosné hmotné konstrukce

Varianty A + B viz **Graf 63** a **Graf 66** se značně odlišují od zbývajících konstrukcí již při prvním pohledu. Průběhy v materiálech jsou z hlediska relativní vlhkosti téměř ustálené díky množství vody, která vstupuje do konstrukce samotné a lze se povšimnout značných teplotních výkyvů dosahujících hodnot od 17,22 °C do 27,38 °C. Jev je rozdílný oproti vnějšímu povrchu viz kapitola *F.3.1 Analýza ročních izolinií teplot a vlhkost*, kdy vlhkost mění díky rozdílu teplot a difuznímu toku své hodnoty a nastává přirozená evaporace. Zde, uprostřed masivních vrstev zůstává průběh ve sledovaném čase neměnným díky nízké pórovitosti n_x . Je pravděpodobné, že kdybychom podrobili simulaci výpočtu delšího časového úseku, bude patrný postupný pokles hodnot relativní vlhkosti. Během zimních měsíců, stejně jako jarních, je možné pozorovat postupný pokles relativní vlhkosti.

Varianta C je značně odlišná od ostatních průběhů. Díky přirozeně nižšímu obsahu vody, za což materiál vděčí výrobnímu procesu, lze pozorovat vysoké rozdíly v relativní vlhkosti materiálu. Lze si povšimnout postupného poklesu vlhkosti díky vyšší pórovitosti n_x . Oproti variantám A + B, kdy můžeme sledovat během zimních a jarních měsíců postupný pokles relativní vlhkosti, si můžeme povšimnout, že hodnoty varianty C s koncem měsíce února a března opětovně mírně narůstají. Je pravděpodobné, že se materiál blíží svému ustálenému vlhkovému stavu. Teploty dosahují výkyvu průběhu o hodnotách 16,51 °C až 27,78 °C.

Varianta D se oproti předchozí kapitole vyznačuje nejvyššími rozdíly v relativní vlhkosti materiálu a současně nejvíce eratickým průběhem. Průběh i rozdíl je způsoben difuzním tokem, který postupně proudí z nadbetonávky keramické části do keramiky samotné díky kombinaci vyšší pórovitosti n_x a také nižší počáteční relativní vlhkosti materiálu. Po zimních měsících je patrný opačný efekt postupného nárůstu vlhkosti. Je pravděpodobné, že se materiál opět blíží svému ustálenému stavu. Nárůst daleko více značným, než je tomu u varianty C. Jev může být způsobem kombinací materiálů nadbetonávky a keramiky. Každý materiál disponuje jinou pórovitostí n_x a faktorem difuzního odporu μ a jinou zabudovanou vlhkostí. Je pravděpodobné, že při zimních měsících dochází k transportu vlhkosti z nadbetonávky do keramiky, což vede k výslednému tvaru izolinií. Materiál dosahuje velmi podobných výkyvů teplot jako varianta C a dosahuje hodnot 16,65 °C až 27,91 °C.

U variant je patrný rozdíl v hodnotách teplot, kdy se patrněji projevuje vyšší objemová tepelná kapacita κ železobetonu. Paradoxem je, že teploty v hmotnějších materiálech oproti jejich lehčím protějškům vykazují menší minima a maxima.

F.3.1.3 Izolinie rozhraní nosné konstrukce a omítky

Varianty viz **Graf 64**, **Graf 67**, **Graf 70** a **Graf 73** jsou na předemtné vrstvě z hlediska průběhu izolinií na první pohled téměř totožné. Je možné si povšimnout velmi neustáleného vnitřního prostředí ve všech případech. Prvním rozdílem mezi variantami je zkosení vlastního průběhu, který odráží kombinaci vyšší vlhkosti samotného materiálu, faktor difúzního odporu μ , odlišnou porozitu n_x a velmi pravděpodobně akumulaci. U variant A + B se lze setkat s vyššími výkyvy v ose relativní vlhkosti, a naopak u variant C + D se výkyvy dějí více na ose teploty. Opětovně se potvrzuje fakt zachycený a popsáný v kapitole *F.3.1 Analýza ročních izolinií teplot a vlhkost*.

Je patrný fakt ustálenějšího průběhu teplot hmotnějších variant A + B (17,22 °C až 27,75 °C), kdy nedochází v ose k vyšším výkyvům, jako můžeme pozorovat u variant C + D (16,42 °C až 28,66 °C). Výkyvy variant A + B, železobetonů, dosahují v letních měsících menších teplot, což je příznivé pro vnitřní prostředí. Naopak v zimě můžeme pozorovat opačný efekt značného posunu do nepříznivých chladnějších hodnot, než u variant C + D. Jevy má za následek akumulace a také nezanedbatelný součinitel tepelné vodivosti λ . Z průběhů izolinií je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Varianty A + B z železobetonu se chovají téměř totožně z hlediska hustot tepelného i difúzního toku. Můžeme však pozorovat nevýhodné vyšší rozdíly v relativní vlhkosti. Lze pozorovat ve srovnání s ostatními variantami akumulační vlastnosti, které vedou k ustálenějšímu prostředí. Prostředí pravděpodobně bude disponovat během roku jinými minimálními a maximálními teplotami, z nichž jsou pro uživatele výhodné teploty zejména v letních měsících. Jev vychází velmi pravděpodobně z vyšší objemové tepelné kapacity κ materiálu. Zůstává otázka chování konstrukcí v zimním období. Je možné, že výsledné chování je umocněno vyšší vlhkostí materiálu, což vede společně s objemovou hmotností ρ a z ní vyplývající objemové tepelné kapacity κ k nutnosti dodat do konstrukce více tepla pro její ovlivnění. Předpoklad jevu bude dále prověřen.
- Varianty C + D se s výjimkou keramobetonu a jinému průběhu relativní vlhkosti chovají velmi podobně zejména z hlediska výkyvů teplot. Hlavním rozdílem se zde stává difúzní tok, který je díky nadbetonávce varianty D zodpovědný za odlišné chování uprostřed materiálu. Současně je oproti variantám A + B patrná nižší plošná tepelná kapacita c_A , která vede k jinému chování a vyšším výkyvům teplot z hlediska času a hodnot. To vede k méně příznivým teplotám v letních měsících, kdy kombinací solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ a menší objemovou tepelnou kapacitou κ dochází k vyššímu a rychlejšímu ohřevu konstrukce. Je pravděpodobné, že bude příznivější zimní období, kdy stejná kombinace vlastností dovolí prohřátí skladby, což povede k vyhledávanému nárůstu teplot.
- Nosné konstrukce všeobecně opětovně vedou k velmi stálému tepelnému a difúznímu toku, jak je patrné z jednotlivých variant a jejich grafů. Pokud se zaměříme na varianty A + B, dosahujeme rychle stabilizace teplot napříč vrstvou, kdy uprostřed masivu nacházíme velmi ustálené hodnoty. Zvýšení objemové hmotnosti materiálu ρ a s ní spojené objemové tepelné kapacity κ má za následek zlepšení chování konstrukce z hlediska stálějších průběhů teplot, které se projevují s menšími extrémy.
- Co se týče chování a otázky snížení energetické náročnosti, je z průběhu jednotlivých izolinií problematické vyvodit jasný závěr, zejména s přihlédnutím k rozdílné tepelné vodivosti λ jednotlivých materiálů. Klíčové jsou pro toto zkoumání grafy izolinií na

rozhraní nosné konstrukce a omítky. Vyšší objemová hmotnost ρ , stejně jako změna dalších vlastností, má na tepelný tok reprezentovaný v grafech viz **Graf 64**, **Graf 67**, **Graf 70** a **Graf 73** pomocí teplot vliv, což lze pozorovat u železobetonových variant A + B, kdy v letních měsících dosahují menších hodnot teploty než zbývající varianty C + D. To vede díky akumulaci k lepšímu chování. Opakem jsou zimní měsíce, kde se akumulace a potřeba vyšší dodávky tepla stává problematickou a lze pozorovat nepatrně lepší a příznivější hodnoty u variant C + D, tedy keramiky a keramobetonu. Je nutné vzít však v potaz součinitel tepelné vodivosti λ . Tento dílčí závěr bude dále prověřen.

F.3.2 Analýza ročních průběhů vlhkosti

Pro lepší pochopení rozdílů mezi materiály byla pro srovnání přidána informace o průběhu množství vody v čase také u pórobetonového hmotného pláště. Informace ohledně počáteční zabudované vlhkosti byly převzaty z databáze institutu Fraunhofer IBP [112].

F.3.2.1 Množství vody v jednotlivých vrstvách

Průběh viz **Graf 74** je patrný a na první pohled znatelný rozdíl mezi jednotlivými variantami, kdy je nesrovnatelně horší železobetonový materiál variant A + B. Přesto jsou tvary křivek téměř totožné.

Materiál železobetonu disponuje obrovským množstvím záměsové vody, která je zabudována společně s nosnou konstrukcí. Z grafu lze pozorovat několikanásobně vyšší podíl množství vody. Pokud opomeneme tento fakt tak vidíme, že postupem celého zkoumaného časového období, včetně data kolem 09.02.2021, kdy dle uživatelů došlo k částečnému výpadku vytápění, dochází k postupnému vysušení materiálu.

Není však pravděpodobné, že by se materiály v následujících rocích začaly blížit svým keramickým protějškům, jak lze konstatovat viz varianta A (pokles z cca 68,33 kg·m⁻² na 61,26 kg·m⁻²) a varianta B (pokles z cca 85,67 kg·m⁻² na 78,79 kg·m⁻²). Pokud bychom se chtěli dostat na stejné hodnoty, jako u jiných materiálů, lze předpokládat pokles v řádu desítek let. Množství vody je nepříznivé pro vnitřní prostředí a lze očekávat při špatném užívání vnitřního prostředí transport této vlhkosti do omítky, kde by vznikaly výkvěty nebo jiné formy poškození.

Materiály keramiky a keramobetonu (kdy bylo množství stanoveno pro materiál jako celek) jsou z hlediska množství vody podobné pórobetonu viz kapitola *E.4.4 Roční průběh vlhkosti*. Z celého průběhu obou materiálů je patrný mechanismus vysychání. Vysychání například u keramiky varianty C dosahuje příznivých hodnot, které se ke konci roku blíží pórobetonu (pokles z cca 15,05 kg·m⁻² na 5,69 kg·m⁻²). U konce roku je možné z grafu pozorovat až téměř splynutí jednotlivých hodnot. V případě varianty D (pokles z cca 19,11 kg·m⁻² na 10,73 kg·m⁻²) lze pozorovat vyšší průběh vlhkosti, který je způsoben pravděpodobnou dotací vlhkosti z nadbetonávky. Přesto jsou oba průběhy příznivé. K datu 09.02.2021 je patrný mírný nárůst vlhkosti. Přesto jsou materiály vhodnější z hlediska vlhkosti, než je tomu u železobetonu.

Je otázkou, jak by se jednotlivé materiály a zejména poté železobetonové varianty A + B chovaly v případě jejich zabudování společně s parozábranou, která by ovlivnila difúzní tok.

F.3.2.2 Celkové množství vody v konstrukci skladby

Průběhy viz **Graf 75** nadále kopírují trendy dílčích vrstev z hlediska materiálové variability, včetně poruchy vytápění objektu, množství vlhkosti a další. Na rozdíl od předchozí kapitoly *F.3.2 Analýza ročních průběhů vlhkosti* se opět průběh zkresluje a značně mění vlivem větraných vzduchových vrstev, kde je intenzivní výměna vzduchu, a tudíž značné výkyvy ve

vlhkosti. Graficky i průběhem je možné varianty mezi sebou z hlediska jejich tvaru vzájemně srovnat. Při bližší analýze je patrné, že varianty železobetonu A + B jsou z hlediska výkyvů množství vody stálejší, než varianty keramiky a keramobetonu. Množství vody je však v konstrukci v daleko vyšší míře. Varianty C + D se opětovně blíží k průběhu množství vody stejnému, jako je v pórobetonu. Při srovnání tvarů křivek, a nikoliv množství vody ve skladbě je patrný rozdíl oproti komparovanému průběhu pórobetonu. Materiál vykazuje sice nejmenší celkové množství vody, ale jak je patrné, také nejvýznamnější ovlivnění při změně okrajových podmínek. Naopak železobeton je přesným opakem. Jev je způsoben rozdílnou porozitou materiálu n_x , stejně jako odlišným faktorem difúzního odporu μ a v neposlední řadě také samotným množstvím vody v materiálu.

Lze konstatovat, že i když v jednotlivých skladbách dochází k trvalému poklesu množství vody, jednotlivé materiálové varianty, s výjimkou keramiky, nejsou v porovnání s pórobetonem vhodné a množství vlhkosti bude ze skladby evaporovat v řádech let. V případě železobetonových variant velmi pravděpodobně až desítek let. Z průběhu vlhkosti je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Materiálové varianty různě efektivně vstřebávají, redistribuují a následně odvádí veškerou vlhkost, která se v materiálu nachází, nebo je vstřebávána. Jednotlivé varianty trvale vysychají v čase, varianty A + B od okamžiku zhotovení, varianty C + D od okamžiku nastěhování uživatelů.
- Materiály vlivem rozlišené pórovitosti n_x , faktoru difúzního odporu μ a již obsaženého množství vody mají oproti pórobetonu z hlediska tvaru křivek stálejší tvary, jejichž průběh daleko méně reaguje na případné výkyvy okrajových podmínek.
- S výjimkou varianty keramického pláště C se žádná jiná varianta neblíží svému ustálenému vlhkostnímu stavu nebo hodnotám, které vykazuje pórobetonový hmotný nosný plášť šikmé střechy.

F.3.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období

Vzhledem k množství dat bylo znovu přikročeno ke zkoumání teplot v jednotlivých měsících pomocí průměrných, minimálních a maximálních hodnot napříč celým časovým obdobím, tedy od 01.04.2020 do 31.03.2021. Hodnoty byly shrnuty do následujících tabulek viz **Tabulka 17** Varianta A – *Tabulka analýzy teplot [32]*, **Tabulka 18** Varianta B – *Tabulka analýzy teplot [32]*, **Tabulka 19** Varianta C – *Tabulka analýzy teplot [32]* a **Tabulka 20** Varianta D – *Tabulka analýzy teplot [32]*. Data jsou rozdělena na obě rozhraní nosné hmotné konstrukce.

F.3.3.1 Průběh teplot na rozhraní izolantu/nosné konstrukce variant $\theta_{s,2}$ A + B

Materiálové varianty železobetonu A + B se vyznačují velmi podobnými až identickými hodnotami teplot $\theta_{s,2}$ ve všech zkoumaných měsících. Hodnoty se mezi sebou liší často až v setinách stupňů Celsia, což značí identické chování. Z obou variant o něco lepší hodnoty napříč všemi spektry vykazuje varianta B, tedy železobeton s objemovou hmotností ρ 2500 kg·m⁻³. Lze si povšimnout, že průměrné hodnoty, stejně jako jejich medián, neklesne po celou dobu sledovaného období pod hodnotu $\theta_{s,2} < 20$ °C. Současně lze pozorovat, že materiály vykazují příhodné teploty v zimních i přechodných měsících, což může vést k efektivnímu snížení ztráty objektu. Co se týče minimálních i maximálních hodnot teplot, stejně jako směrodatných a průměrných odchylek, setkáváme se opětovně s téměř totožnými hodnotami. V letních měsících je možné si povšimnout značně vysokých teplot, které například v srpnu a září dosahují velmi vysokých průměrných hodnot, které jsou doprovázeny vysokými odchylkami a také nejvyššími

maximálními teplotami. Celkově při porovnání s variantami C + D lze vypočítat nižší průměrné teploty v letních měsících a na ně navazující maxima a minima.

Stejně tak lze opačně pozorovat vyšší teploty v zimních a přechodových měsících a na ně navazující maxima a minima. Oproti variantám C + D se železobetonový materiál variant A + B vyznačuje příznivými směrodatnými i průměrnými odchylkami. To vede na fakt ustálenějšího průběhu teplot v čase, tak již bylo ověřeno a prokázáno v rámci izolinií.

F.3.3.2 Průběh teplot na rozhraní izolantu/nosné konstrukce variant θ_{s2} C + D

Materiálové varianty keramiky a keramobetonu variant C + D jsou vzájemně opětovně velmi podobné ve svých dílčích hodnotách θ_{s2} . Na začátek je vhodné zmínit, že průměrné hodnoty i medián neklesne stejně jako u železobetonu pod 20 °C. Pokud materiály vzájemně srovnáme zjistíme, že se celkově chová lépe v letním období materiálová varianta D, tedy hmotnější keramobeton, kdy jsou průměrné hodnoty, medián, maxima, minima i odchylky příznivější. Naopak varianta C se chová lépe ve zbývajících měsících, kdy, byť často v setinách, vychází lépe tato lehčí varianta. Toto je způsobeno již řešenou akumulací schopností materiálu, která vychází z objemové hmotnosti, objemové měrné tepelné kapacity a také odlišnému součiniteli tepelné vodivosti. Při celkovém srovnání s variantami A + B lze pozorovat mírný nárůst hodnot napříč všemi zachycenými teplotami a současně také nárůst jednotlivých odchylek. Pokud se zaměříme pouze na letní měsíce, lze pozorovat teploty s rozdílem vyšším než 1 °C. Vyšší odchylky nás dále vedou oproti železobetonovým materiálům na méně ustálenější průběh teplot v čase, což koresponduje s ověřeným a prokázaným průběhem v rámci izolinií.

F.3.3.3 Průběh teplot na rozhraní nosné konstrukce/interiéru θ_{s1} všech variant

Rozdílem teplot na rozhraní nosné konstrukce a interiéru θ_{s1} oproti rozhraní s izolantem θ_{s2} je téměř nezatelný rozdíl, který se výrazněji neprojevuje v jednotlivých variantách. Z tabulek je možné zjistit, že hodnoty průměrných teplot, stejně jako jejich medián, zůstává vesměs totožný. Můžeme pozorovat nárůst maximálních hodnot, a naopak pokles minimálních hodnot u variant C + D. Varianty provází vyšší směrodatné a průměrné odchylky, což dále vypovídá o větších teplotních výkyvech v čase simulace. Opakem jsou varianty A + B, kde lze pozorovat nižší maximální teploty a vyšší maximální teploty. Jejich směrodatné a průměrné odchylky jsou menší. Z průběhů teplot během celého časového úseku možné shrnout následující dílčí závěry.

- Rozdíly mezi variantami jsou při průměrných hodnotách za celé období velmi podobné. Nejvyšší rozdíly jsou patrné v minimálních a maximálních teplotách, stejně jako směrodatných a průměrných odchylkách.
- Varianty A + B vykazují na rozhraní nosné konstrukce a izolantu vyšší teploty θ_{s2} v zimních a přechodových měsících, a naopak menší teploty v měsících letních. Varianty doprovází příznivé nižší odchylky. Lze očekávat lepší a teplotně stálější průběhy teplot v čase. Je patrné, že při delších časových úsecích jsou tyto výhody dle průměrných teplot nevýrazné a výsledné rozdíly nedosahují velkých změn.
- Varianty C + D vykazují na rozhraní nosné konstrukce a izolantu opačné hodnoty, tedy nižší teploty θ_{s2} v zimních a přechodových měsících, a naopak vyšší teploty v měsících letních. Varianty doprovází vyšší a méně příznivé odchylky. Lze čekat horší a méně stálější průběhy teplot v čase. Je patrné, že díky průměrným teplotám nebudou materiálové varianty z hlediska změn výrazné v jejich projevu.
- Vnitřní prostředí prezentované teplotou θ_{s1} dosahuje u všech variant podobných průměrných teplot s nevýraznými nuancemi, kdy je zřejmý obdobný vnitřní mechanismus předávání tepla, který lze pozorovat u všech variant. Z odchylek,

maximálních i minimálních hodnot je patrný rozdíl a lze očekávat v krátkém časovém úseku jiné chování, než je tomu při průměrných hodnotách celého sledovaného úseku.

F.3.4 Analýza průběhu hustoty tepelného toku v celém předmětném časovém období

Rozdílem oproti reálné experimentální skladbě objektu EX_RD_2 je citlivost, kterou disponuje SW oproti zabudovanému čidlu hustoty tepelného toku a datům, které shromažďuje. S ohlednutím do kapitoly E.5.4 *Analýza průběhu hustoty tepelného toku v celém předmětném časovém období*, kde je část výsledků (24,74 dne) vykázána jako den bez tepelného toku, jsou výsledky simulace daleko přesnější. Nelze tedy korektně porovnat výsledky s pórobetonovým hmotným materiálem. Přesto lze pozorovat rozdíly a vyvodit z nich závěry viz **Tabulka 21** *Varianta A+B – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]* a **Tabulka 22**.

F.3.4.1 Průměrné hustoty tepelných toků q_{kl}

Varianty se opětovně mírně liší u železobetonových materiálů A + B a variant disponujících keramikou a keramobetonem. U železobetonových variant lze pozorovat mírně příznivější průměrné hodnoty q_{kl} v některých letních měsících, než je tomu u variant C + D. Lze konstatovat, že průměrné hustoty tepelných toků q_{kl} nejsou z hlediska hodnot výrazně odlišné. To má pravděpodobně za následek akumulaci schopnost materiálů a schopnost železobetonových variant si tepelné zisky udržet ve vyšších hodnotách a rychleji je vstřebat i vydat díky horšímu součiniteli tepelné vodivosti λ . Naopak keramické a keramobetonové varianty si dokážou teplo udržet v sice menších hodnotách, ale zato jej díky lepšímu součiniteli tepelné vodivosti λ pomaleji předávat do okolí. Domněnky je nutné vztáhnout k časovému rozložení viz následující kapitola.

F.3.4.2 Maximální a minimální hustoty tepelných toků q_{kl}

Analýza hodnot poukazuje na mírně rozlišné chování všech variant. Z tabulky viz **Tabulka 21** *Varianta A+B – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]* a **Tabulka 22** lze vyčíst, že maximální hodnoty hustoty tepelného toku q_{kl} jsou ve všech případech téměř stejné a současně lze pozorovat, že s výjimkou měsíce února dochází v téměř všech měsících k částečnému zisku konstrukce. Současně je možné si povšimnout, že i přes vysoké maximální hodnoty v letních měsících nastává také značná ztráta během nočních hodin, což je s ohledem na reálný experiment a chování celé skladby přirozené a ověřené experimentem.

Varianty jsou mezi sebou kompatibilní a je patrné, že pokud přihlídneme do letních i zimních měsíců, vychází varianty v podstatě totožně. To nás vede na domněnku, že díky kombinaci různých objemových tepelných kapacit κ a jejich buď zvýhodnění, nebo znevýhodnění změnou součinitele tepelné vodivosti λ se přednosti jednotlivých variant v delším časovém úseku vyruší. Domněnky je nutné vztáhnout k časovému rozložení viz následující kapitola.

F.3.4.3 Hustoty tepelných toků q_{kl} a jejich hodnoty v čase

Počty dnů dále potvrzují provedenou analýzu ohledně velmi obdobného chování jednotlivých skladeb nezávisle na zvoleném materiálu. Za povšimnutí stojí časové rozložení v letních měsících, kdy zejména v měsíci červnu jsou počty kladných ziskových dnů velmi vysoké a s přibývajícím časem jejich hodnota klesá. Jev vypovídá o prohrátí jednotlivých materiálů a vnitřního prostředí, kdy následně, viz minimální a průměrné hustoty toků q_{kl} , dochází k vychládání konstrukcí a tím vykázání vyhledávané ztráty energie/tepla v těchto náročných měsících. Znovu se objevuje problematika vlivu akumulace a součinitele tepelné vodivosti λ , což

má za následek výsledný a podobný stav jednotlivých variant A až D. Domněnky je nutné vztáhnout k časovému rozložení viz následující kapitola.

Z průběhů hustot tepelných toků během celého časového úseku možné shrnout následující dílčí závěry.

- Hustotami tepelných toků q_{kl} je znovu potvrzena domněnka ohledně pozitivního vlivu akumulčních schopností hmotného střešního pláště během přechodných měsíců a zimních měsíců. Energie vložená do materiálu může dosahovat podle objemové tepelné kapacity κ vyšších hodnot a s rostoucí hodnotou je daleko lépe akumulována, a tedy dlouhodobě lépe využita.
- Hustotami tepelných toků q_{kl} je potvrzena domněnka potenciálního negativního vlivu akumulčních schopností hmotného střešního pláště během letních měsíců, kdy při kontinuální dodávce energie do skladby hrozí při delším časovém úseku vyšší teplota.
- Napříč všemi měsíci se projevuje akumulční schopnost skladby a současně také malé rozdíly mezi materiály. S ohledem na uvedené poznatky lze dospět k závěru, že ani jedna z variant nemá před ostatními ryze přednost nebo výhodu z hlediska ztrát a zisků. Fakt je způsoben kombinací různé objemové tepelné kapacity κ a součinitele tepelné vodivosti λ , kdy se jednotlivé vlastnosti vzájemně ruší a vedou k velmi obdobným průběhům v rámci delšího časového úseku. Je pravděpodobné, že pokud se zaměříme na krátký časový úsek, budou rozdíly skladeb velmi patrné.
- Analýza dále potvrzuje dílčí závěry provedené v rámci předchozích kapitol.

F.3.5 Analýza průběhu teplot materiálůvých variant v zimním období

Z průběhu měsíčních teplot v lednu viz **Graf 76** lze pozorovat značné rozdíly v průbězích jednotlivých variant oproti výchozímu pórobetonu na obou rozhraních θ_{s1} a θ_{s2} , kdy se mírně projevují výhodné solární zisky $_{chmi}RGLB_{10}$, stejně jako akumulace této solární energie.

Při srovnání teplot na rozhraní nosné konstrukce a izolantu θ_{s2} vychází z hlediska teplot nejlépe železobetonový hmotný plášť varianty B, který se vyznačuje nejvyšší objemovou hmotností ρ , a tudíž nejvyšším akumulčním potenciálem, který je možné pozorovat v téměř celém předmětném období, kdy teplota neklesne v průběhu pod $\theta_{s2} < 20$ °C.

O něco hůře poté vychází varianta A lehčího železobetonu. Varianta má identický průběh s pouze o cca 0,2 °C menšími hodnotami teplot θ_{s2} , tedy téměř zanedbatelnou změnou.

Změny jsou více patrné na variantách C a D, kde se průběh teplot θ_{s2} díky poklesu akumulčních schopností, stejně jako výrazně jinému součiniteli tepelné vodivosti λ mění jak oproti variantám A a B, tak i oproti vzájemnému porovnání. Z průběhů teplot θ_{s2} je patrné, že mírně vhodnější vlastnosti má v tomto zkoumaném časovém úseku varianta C, keramika. Pokud se zaměříme na její průběh v čase, můžeme si povšimnout vyšších hodnot než u varianty D, za což může velmi pravděpodobně vhodnější součinitel tepelné vodivosti λ . Oproti tomu varianta D vykazuje za předpokladu solárních zisků lepší akumulaci, která je však velmi nepatrná a je více čitelná v následujících časových obdobích.

Při řešení průběhů teplot na rozhraní interiéru a nosné konstrukce θ_{s1} je patrné téměř totožné chování jednotlivých variant, kdy se opětovně projevuje vyšší objemová hmotnost ρ variant A a B. Materiály jsou za předpokladu solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ výhodné ve dvou směrech a sice schopnosti v zimě naakumulovat více tepelné energie a následně při přestávce či přerušení dodávky zisků si energii/teplo déle udržet. Problém je patrný kolem data 21.01.2021, kdy se schopnost pojmout více energie do materiálu stává problematická a materiál se zahřívá o poznání pomaleji, než varianty C + D, které jsou lehčí. Opakem toho jsou varianty C + D, které

mají obrácené vlastnosti, tedy „horší“ akumulární vlastnosti, což vede k potřebě dodat do skladby méně tepla, a tedy rychlejšímu nárůstu teplot ve skladbě.

Je patrný rozdíl skladeb v obou rozhraních z hlediska jejich průběhu teplot, kdy díky odlišné akumulaci lehčí pláště, tedy varianty C + D, stejně jako pórobeton, více reagují na výkyvy teplot. Z průběhů teplot variant v zimním období je možné shrnout následující dílčí závěr.

- Dle průběhu teplot nebyl stanoven fázový posun teplotního kmitu ψ . Předpokládá se posun na vyšší hodnoty oproti pórobetonu v závislosti na objemové hmotnosti ρ a objemové tepelné kapacitě κ . Vzhledem k tomu, že se jedná o simulaci, nejsou hodnoty předmětem zkoumání. Pro přesné výsledky by bylo vhodné provést experimentální, optimálně laboratorní, měření.
- Je možné pozorovat při dostatečných solárních ziscích $_{chmi}RGLB_{10}$, stejně jako u pórobetonu, doprovázených vyššími hodnotami vnějšího prostředí $_{chmi}\theta_{e1}$, příznivé akumulární vlastnosti, kdy dochází ve všech variantách k potenciálnímu snížení energetické náročnosti objektu vzhledem k jeho vytápění. Míra úspory je závislá na kombinaci vlastností objemové hmotnosti ρ , z ní plynoucí objemové tepelné kapacitě κ a také součiniteli tepelné vodivosti λ .
- Vlivem příznivých okrajových podmínek lze pozorovat dlouhodobě vhodnější průběh teplot masivnějších hmotných plášťů šikmých střech variant A + B. Průběh je při déle trvajících zimních měsících příznivější, jelikož akumulace umožňuje dosáhnout stálejšího prostředí a při výpadku dodávky se teplo ve skladbě dlouhodoběji udrží. Nutností je dodat z počátku, a v průběhu, více energie.
- Vlivem příznivých okrajových podmínek je možné pozorovat krátkodobě vhodnější průběh teplot lehčích hmotných plášťů variant C + D. Průběh je příznivý z hlediska prvotní dodávky tepla nebo při kratších solárních ziscích $_{chmi}RGLB_{10}$, jelikož materiál má nižší hodnoty akumulárních vlastností, což vede k rychlejšímu zahřátí. Při výpadku nastává rychleji ochlazení konstrukce.

F.3.6 Analýza průběhu teplot materiálových variant v letním období

Průběhy teplot θ_{s1} a θ_{s2} jednotlivých variant viz **Graf 78** a **Graf 79** odhalují míru, kterou se vnější prostředí $_{chmi}\theta_{e1}$ a s ním spojené solární zisky $_{chmi}RGLB_{10}$ podílí na celém chování skladby. Stejně jako u pórobetonu, který je zobrazen jako srovnávací rovina, lze jednotlivé výkyvy reprezentující dny pozorovat jasně a pouhým okem, ať se jedná o měsíc červenec, nebo srpen.

Hmotnější materiálové varianty A až D jsou z hlediska teplotních průběhů daleko lépe ustálené v obou případech. Hodnoty vykázané v grafu se na obou rozhraních z hlediska teplot θ_{s1} a θ_{s2} často průběhu pórobetonu ani nepřibližují, ať už se jedná o denní nebo i noční hodiny.

V první řadě opětovně srovnáme železobetonové hmotnější varianty A + B, které jsou z hlediska teplot obou rozhraní daleko ustálenější jak ve svém průběhu, tak i ve velikosti svých lokálních výkyvů, tedy amplitud. Výkyvy zachycené v grafech jsou ve srovnání s lehčími materiály výrazně menší. Je patrné, že celkově se skladby chovají totožně s tím, že se lehčí varianta A v průbězích teplot nachází nad variantou B. Jev je způsoben menší akumulární schopností a do skladby varianty A z železobetonu o objemové hmotnosti ρ 2300 kg·m⁻³ se dostane mnohem více tepla. Teploty jsou tudíž mírně vyšší.

Při ochlazení v datech 08.07.2020, 13.07.2020, nebo při velmi markantním poklesu 04.08.2020, dochází k výměně pozic, kdy se hmotnější a akumulárně výraznější varianta B dostává v průbězích nad svůj lehčí protějšek a pomaleji vychládá. V momentě, kdy je dodávka solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$, nebo jiné tepelné energie obnovena, průběhy si opět vyměňují pozice,

jak je patrné například k datu 21.07.2020 a k datu 08.08.2020. Lze si povšimnout větší akumulace, delší doby fázového posunu teplotního kmitu ψ a dlouhodobějšího uvolňování tepla ze skladby, což je patrné k datu 04.08.2020 až 08.08.2020. Hmotnější skladby šikmého střešního pláště díky menším amplitudám souvisejícím s nutností dodat více tepla vykazují na kratších časových úsecích lepší vlastnosti. Avšak, v celkovém průběhu, zejména poté například ve velmi slunečných dnech a relativně teplých nocích, nestačí své teplo efektivně v letních měsících vydat. Pokud nastane delší časový úsek s vysokými teplotami $chmi\theta_{e1}$ tak tyto hmotnější konstrukce, které přes den prokazatelně vykazují nižší teploty, budou přes noční hodiny naopak vykazovat teploty vyšší bez ohledu na to, o které z rozhraní θ_{s1} a θ_{s2} se jedná.

Lehčí varianty C + D jsou, co se týče teplot na rozhraní izolantu a nosné konstrukce θ_{s2} , stále lepší variantou, než je pórobeton. Prokazatelně lze sledovat na obou rozhraních daleko vyšší amplitudy/výkyvy, což má za následek nižší míra akumulačních schopností materiálu, kdy o něco vyšší amplitudy vykazují průběh lehčí varianty C. Objemová hmotnost ρ má bezesporu zásadní vliv na průběhy, jak je možné si povšimnout také při ochlazení k datu 04.08.2020, kdy se hmotnější varianta D drží v obou rozhraních teplot θ_{s1} a θ_{s2} na vyšších teplotách než varianta C.

Současně je možné pozorovat stejný mechanismus, jako je u variant A + B, tedy to, že hmotnější varianta se při nepřerušení dodávek solárních zisků a tepla drží díky vyšším kumulativním nárokům trvale v nižších teplotách a při jejich přerušení má naopak tendenci dlouhodoběji teplo držet. Při opětovném energetickém impulzu, viz datum například 08.08.2020, se průběhy vzájemně opět ve své pozici mění. Lehčí skladby mají oproti železobetonu výhodu, že jejich amplitudy a schopnost rychlejšího projevu teplotních změn související s nižší objemovou tepelnou kapacitou κ vedou k možnosti přes noční hodiny vychlázet.

Pokud se zaměříme na data 15.08.2020, až 27.08.2020 vidíme, že v nočních hodinách se průběhy teplot na rozhraní nosné konstrukce a interiéru θ_{s1} variant C + D posouvají pod průběhy těžších variant A + B. Lehčí skladby mají tendenci i přes vyšší denní průběh teplot lépe a zejména rychleji vychlázet. Současně teplo rychleji získávají nazpět, jak je patrné na srovnání s pórobetonem, jehož amplitudy jsou oproti jiným materiálovým variantám daleko význačnější.

Při srovnání skladeb C + D na rozhraní nosné konstrukce a tepelném izolantu je patrné, že se v některých okamžicích skladby dostávají do naprostého zákrytu a vykazují tak identické chování. Současně je také vidět tendence lehčího pórobetonu dosahovat vyšších teplot. Z průběhů teplot materiálových variant v letním období je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Dle průběhu teplot nebyl stanoven fázový posun teplotního kmitu ψ . Lze opět předpokládat a současně i vidět posun kmitu na vyšší hodnoty oproti pórobetonu v závislosti na objemové hmotnosti ρ i materiálových variant oproti sobě. Vzhledem k tomu, že se však jedná o simulaci, nejsou hodnoty předmětem zkoumání. Pro přesné výsledky by bylo nutné provést experimentální, optimálně laboratorní, měření.
- Těžší a hmotnější varianty A + B jsou z hlediska průběhu teplot θ_{s1} a θ_{s2} stabilnější a vykazují menší amplitudy/výkyvy než jejich lehčí protějšky. Skladby s rostoucí objemovou hmotností ρ , a z ní plynoucí akumulační schopnosti, vykazují na obou rozhraních nižší denní teploty. Hmotnější varianty mají při přerušení dodávky solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ a tepla $chmi\theta_{e1}$ tendenci dlouhodoběji vykazovat vyšší teploty a při opětovné dodávce tendenci se déle zahřívat na jejich původní hodnoty. Značnou nevýhodou, i přes dlouhodobě nižší průběh teplot je fakt, že teploty ve skladbě zůstávají přes noční hodiny. Díky fyzikálním zákonitostem jsou jejich hodnoty značně vysoké.
- Lehčí a méně hmotné varianty C + D jsou z hlediska průběhu teplot θ_{s1} a θ_{s2} méně stabilnější a vykazují vyšší amplitudy/výkyvy než hmotné varianty. Přesto se však

nemohou rovnat z hlediska intenzity s materiálem pórobetonu, jehož průběh je velmi výrazný. Skladby vykazují s klesající objemovou hmotností ρ a s ní spojenou akumulací vyšší denní teploty na obou rozhraních. Po přerušení dodávky solárních zisků ${}_{chmi}RGLB_{10}$ a tepla ${}_{chmi}\theta_{e1}$ mají tendenci se daleko rychleji zbavit v létě přebytečného tepla, avšak při opětovné dodávce se rychleji zahřívají na původní nebo i vyšší hodnoty. Výhodou je fakt, že pokud dojde k ochlazení například během nočních hodin, teploty ve skladbě rychleji klesají, za což může opět stejný vnitřní mechanismus skladby.

- Velmi hmotné skladby šikmého střešního pláště, oproti lehčímu pórobetonu, nemají tendenci, při stejných okrajových podmínkách, kterým je vystaven reálný plášť viz kapitola *E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací*, vést díky potřebě vyšší dodávky tepla k přehřátí interiéru a nárůstu teplot θ_{ai} . Díky vyšším akumulačním schopnostem drží s rostoucí objemovou hmotností ρ stabilnější průběh teplot, a to v denních hodinách i nočních hodinách. Při přerušení dodávky mají skladby potenciálně nevhodnou tendenci déle zůstat zahřáté.
- Díky kvalitnímu a intenzivnímu prohřívání skladby lze pozorovat jednotlivé impulzy a výrazné amplitudy/výkyvy, které nedosahují stejné intenzity jako pórobeton. Pórobeton, jako nejlehčí varianta, však disponuje schopností teplo rychle přijmout, ale také rychle, při srovnání s výrazně hmotnějšími materiály variant A až D, vydat.
- Lze konstatovat, že hmotnější materiál se schopností pohltit více tepla bez zahřátí o 1 °C se z hlediska teplot ${}_{chmi}\theta_{e1}$ a solárních zisků ${}_{chmi}RGLB_{10}$ jeví více příznivý.

F.3.7 Analýza průběhu teplot materiálových variant v přechodovém období

Průběhy teplot materiálových variant jsou z hlediska tvarů velmi zajímavé a znovu projevují a vykazují již popsané jevy, které s různými intenzitami nabírají na síle nebo jsou daleko patrnější, než byly u relativně teplotně stálějších letních či zimních měsíců. Jelikož jsou měsíce velmi význačné z hlediska výkyvů teplot a z hlediska tvaru průběhů, budou zkoumané měsíce rozděleny do samostatných kapitol.

F.3.7.1 Průběh teplot materiálových variant měsíce dubna

Analýza průběhů teplot θ_{s1} a θ_{s2} viz **Graf 77** poukazuje na podobnost přechodového a letního měsíce, ať se již zaměříme na měsíc červenec nebo srpen. Lze si povšimnout již popsaných záležitostí ohledně výhod a nevýhod hmotnějších nosných plášťů variant A + B, kdy je markantní nižší průběh teplot při dodávce solárních zisků ${}_{chmi}RGLB_{10}$ a tepla ${}_{chmi}\theta_{e1}$, a lepší chování skladby a vyšší teploty při přerušení této energetické dodávky. Je patrné, že se lehčí varianta A trvale nachází, co se týče průběhu, nad hmotnější variantou B a naopak při přerušení dodávky se jejich pozice vymění. Rozdíl je malý a jedná se o cca 0,1 °C až 0,2 °C.

Je vhodné si povšimnout ustálenějšího průběhu teplot s menšími amplitudami/výkyvy v čase a nutností se déle zahřívají, což opět svědčí o akumulačních vlastnostech těchto objemově hmotnějších variantách. Se zaměřením na přechodový měsíc duben se hmotnější varianty stávají výhodnými a obdobně jako v létě si materiál lépe poradí s případnými teplotními výkyvy anebo v extrémních případech s přerušením dodávky tepla. Co se týče rozdílů mezi průběhem teplot na rozhraní nosné konstrukce/izolantu θ_{s2} a nosné konstrukce/interiéru θ_{s1} dochází u hmotných variant k vzájemnému překrývání průběhu s výjimkami poklesu nebo naopak nárůstu teplot. To svědčí o akumulaci tepla uvnitř konstrukce.

Lehčí varianty C + D se nadále chovají stejně, tedy mají vyšší průběh teplot θ_{s1} a θ_{s2} při dodávce solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ a tepla $chmi\theta_{e1}$. Rychleji však vychládají při přerušení této energetické dodávky. Stejně, jak jsme mohli pozorovat v grafu letních měsíců viz **Graf 76**, se pláště rychleji zahřívají. Co se týče pozice teplotních průběhů jednotlivých variant, je problematické díky značnému překryvu rozhodnout, jaká z variant vykazuje lepší chování v ustáleném prostředí a jaká naopak při přerušení dodávky. Rozhodující se stávají data od 14.04.2020 do 25.04.2020, kdy je patrné identické chování z letních měsíců, tedy že lehčí varianta C se v případě poklesu teplot $chmi\theta_{e1}$ dostává v obou rozhraních pod teploty θ_{s1} a θ_{s2} varianty D a při dodávce tepla, či solárních zisků $chmiRGLB_{10}$, se jejich pozice opětovně mění. Rozdíl je opět velmi malý a hodnoty dosahují cca 0,2 °C až 0,4 °C.

Při srovnání průběhů materiálových variant s pórobetonem je patrné, že pórobeton daleko více reaguje za změny teplot $chmi\theta_{e1}$ a přerušení případné dodávky slunečního záření $chmiRGLB_{10}$. Současně je amplituda/výkyv teplot na rozhraní nosné konstrukce a izolantu θ_{s2} o daleko větších hodnotách, což svědčí o nižších akumulacích vlastnostech, které jsou v případě přechodového měsíce méně vyhledávané.

F.3.7.2 Průběh teplot materiálových variant měsíce listopadu

Analýza průběhů viz **Graf 80** znovu, tentokrát ve vyšší míře, poukazuje na akumulaci schopnosti jednotlivých skladeb a zejména jejich rozdílu oproti lehčímu pórobetonu. Z poklesů, zejména k datu 21.11.2020, je viditelná funkcionalita jednotlivých skladeb a jejich již opakovaně popsaného rozdílu v objemové hmotnosti ρ a akumulacích vlastnostech z nich plynoucích.

Varianty A + B se opět projevují jak svou vyšší akumulací schopností, tak stálejším průběhem teplot, kdy při poklesu teplot vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$ je možné pozorovat na obou rozhraních vyšší teploty θ_{s1} a θ_{s2} a naprosto stejné pozice jednotlivých průběhů, ať již hlediska poklesu teplot, nebo jejich následného růstu. Po kompletní analýze grafu lze říct, že v přechodovém a teplotně nestálém měsíci skladby železobetonů svou hmotností a akumulovaným teplem vedou k daleko více optimálnímu vnitřnímu prostředí, což je patrné z výsledného tvaru průběhů.

Varianty C + D taktéž projevují stejné chování jako ve všech doposud zkoumaných obdobích. Dále nás průběhy teplot utvrzují v tom, že jejich akumulací schopnosti jsou prokazatelně nižší, což vede v nižším průběhu teplot při přerušení dodávky energie, ale opačně při ustáleném a kontinuálním zisku, ať již prostřednictvím solárního záření $chmiRGLB_{10}$, nebo pomocí hustot tepelných toků q_{kl} z interiéru, dosahují příznivých vyšších teplot. Jejich amplitudy jsou také daleko výraznější, jak je možné si povšimnout například k datu 20.11.2020.

Další analýza chování konstrukce opakovaně potvrzuje závěry provedené v rámci kapitoly *F.3.7 Analýza průběhu teplot materiálových variant v přechodovém období*. Z průběhů teplot materiálových variant v přechodových obdobích je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Dle průběhu teplot nebyl stanoven fázový posun teplotního kmitu ψ . Opětovně je patrné, že hmotnější varianty vykazují vyšší hodnoty na obou rozhraních. Vzhledem k tomu, že se však jedná o simulaci, nejsou hodnoty předmětem zkoumání. Pro přesné výsledky by bylo nutné provést experimentální měření.
- Je možné pozorovat stejné chování skladeb a závislost průběhů na akumulacích vlastnostech, které vycházejí z objemové hmotnosti ρ , měrné tepelné kapacity c a v přeneseném významu objemové tepelné kapacity κ a plošné tepelné kapacity c_A .
- Varianty A + B vykazují na rozhraní nosné konstrukce a izolantu vyšší teploty θ_{s2} s menšími amplitudami/výkyvy. Při přerušení dodávky energie do skladby si déle udrží svou teplotu, a naopak při obnově se déle na svoje původní teploty vrací. Na

rozhraní nosné konstrukce a interiéru θ_{s1} je jejich teplota naopak nižší, což vypovídá o jiných akumulacích vlastnostech.

- Varianty C + D vykazují na rozhraní nosné konstrukce a izolantu nižší teploty θ_{s2} s většími amplitudami/výkyvy. Současně při přerušení dodávky energie do skladby ztrácí rychleji svou teplotu, a při obnově se rychleji na svoje původní teploty vrací.
- Stejně jako u pórobetonu je z měsíce listopadu patrné, na kolik je celý mechanismus. a s ním spojené výsledné teploty na rozhráních, závislý na dodávce solární energie $chmiRGLB_{10}$, bez které se zvyšuje energetická náročnost objektu na vytápění.
- Díky vyšším akumulacím vlastnostem, než má pórobeton, je možné překonat více než dva dny, zejména u variant A + B, při nepříznivé kombinaci poklesu vnější teploty $chmi\theta_{e1}$ a absence solárních zisků $chmiRGLB_{10}$. Při opětovné dodávce se však akumulacím schopnost stává problematickou z důvodu nutnosti ztracenou energii vracet ve vyšší míře. To v případě železobetonových variant trvá déle.

Tato a předcházející kapitola poskytuje odpovědi na otázky kladené v kapitole C.1 *Vytyčení cílů*, konkrétně poté plně na cíle 2 a částečně na cíl 4. Došlo k rozšíření poznání cíle 1. Celkové shrnutí a odpovědi na veškeré vytyčené cíle budou uvedeny v kapitole G. *VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE*.

F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám

Následující kapitola se zabývá mírou vlivu orientace teplosměnné konstrukce vůči světovým stranám a hledá tak odpověď na cíl 3 kapitoly *C.1 Vytýčení cílů*. Aby bylo možné dosáhnout srovnání mezi jednotlivými odklony objektu EX_RD_2 od severu, bude vytvořena plná simulace výchozího stavu, ke které budou další varianty vztahovány. Současně, jelikož by bylo problematické a komplikované posoudit natočení celého objektu, bude vybrána pouze místnost, kde současně probíhá experimentální sběr dat, konkrétně místnost 2.04 Pracovna. Místnost byla částečně popsána v kapitole *D.2.4 Experimentální měřicí soustavy EX_RD_02* a nadále bude přesně definována z hlediska svých ploch a vlastností, které vstupují do celého výpočtu.

F.4.1 Kompilace modelů

Model podléhající simulaci ohledně vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám bude proveden v již popsaném programu DesignBuilder viz kapitola *D.3.3 Výpočetní software DesignBuilder*, který umožňuje definovat objekt jako celek, včetně všech jeho vnitřních prostor a konstrukcí teplosměnných i vnitřních akumulčních, které vstupují do celkového posouzení. Program [104] a jeho funkcionalita je v souladu s kapitolou *D.3.1 Volba optimálního softwaru*.

Kompilace modelu sestává ve využití a zhotovení geometrie experimentálního objektu EX_RD_2 Pohořelice v plném rozsahu, k čemuž se dále připojí kompletní okrajové podmínky vnějšího prostředí. Opětovně se jedná o data nasbíraná v rámci experimentálního měření. Pro plné pochopení problematiky budou definovány veškeré vnitřní provozy, stejně jako konstrukce a také režimy vytápění, chlazení a větrání tak, aby co nejdříve zachycovaly skutečný stav objektu.

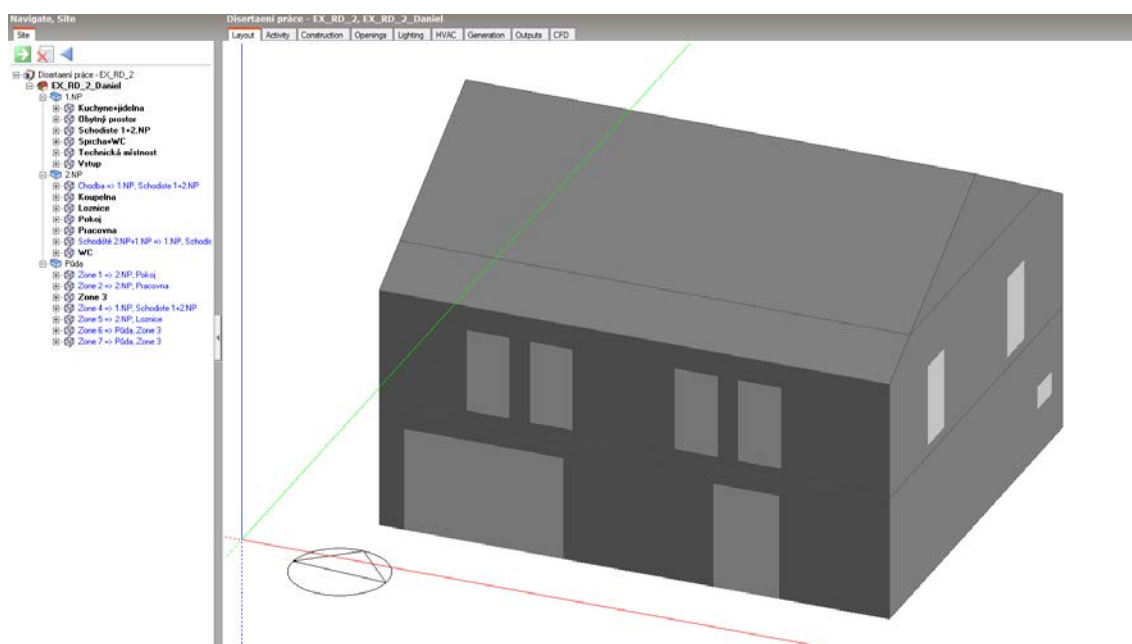
F.4.2 Podrobnější popis objektu EX_RD_2, jeho vlastností a geometrie

Objekt je z velké části popsán kapitolou *D.2.2 Výběr objektu* a následné požadavky na model je možné zjistit kapitolou *D.3.5 Kompilace modelu DesignBuilder*. Stavba EX_RD_2 je dána dokumentací viz **Příloha č. 1**, ze které jsou patrné veškeré geometrické návaznosti. V programu DesignBuilder byl sestaven model sestávající ze 3 pater, které odráží 1.NP, 2.NP a poté patro půdy, které slouží pro kompletaci správné geometrie a možnosti vhodně definovat chování. Oproti objektu EX_RD_1 stavba disponuje o poznání vhodnější a snazší geometrií. Aby bylo možné postihnout kompletní problematiku, byl objekt rozdělen dle jednotlivých místností na celkem 13 místností a 20 zón, z nichž bylo 8 z těchto zón v rámci korektnosti spojeno. Sjednocení umožní sloučení provozu a zejména chování interiéru z hlediska větrání, vytápění a případného ochlazování, čímž je dále podpořena korektnost simulace. Výsledkem je konstrukce modelu patrná viz **Obr. 35**.

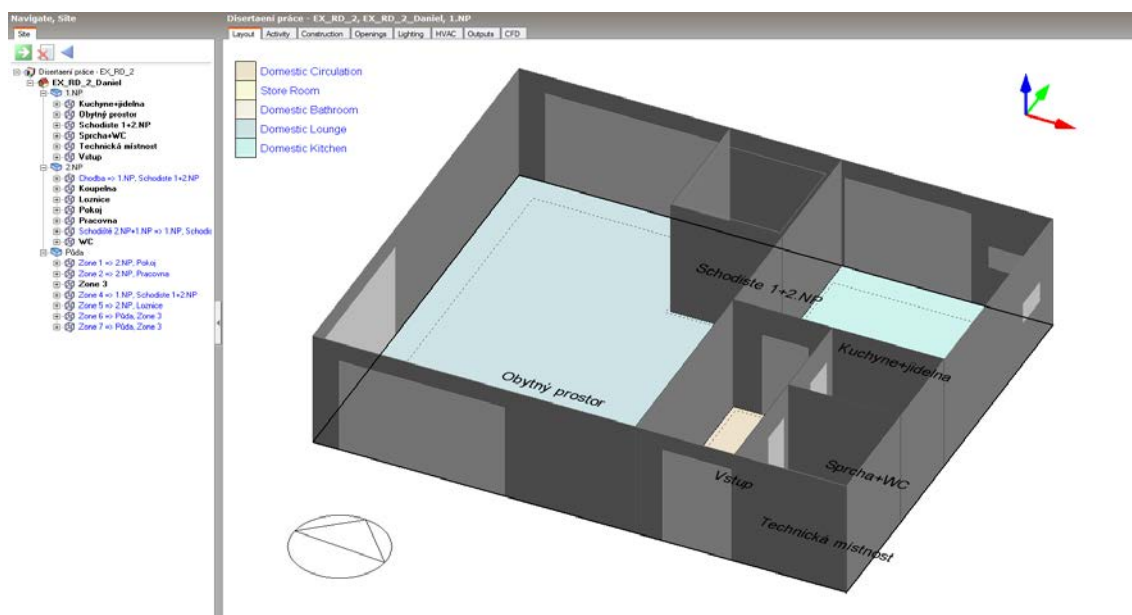
Vlastností související s objemem vnitřního prostředí, sklonem střechy, rozmístěním a plochou okenních otvorů apod. jsou patrné viz **Příloha č. 1**. Geometrie objektu je viz **Obr. 35** velmi jednoduchá a je vhodně definovatelná v prostředí SW. Objekt v současnosti slouží pro ubytování dvoučlenné rodiny ve složení 2x dospělá osoba s možností budoucího rozšíření rodiny. Faktor menšího využití byl zadán do koncepce využití všech vnitřních prostor. Bylo plně zohledněno vybavení jednotlivých místností, stejně jako doba pobytu a hustota, se kterou je objekt využíván. Aby bylo dále možné plně využít možností programu a z něj vycházejících simulací,

byl zohledněn koncept větrání, vytápění a případného ochlazování místností tak, aby výsledná simulace možná co nejpřesněji vypovídala o skutečném využití.

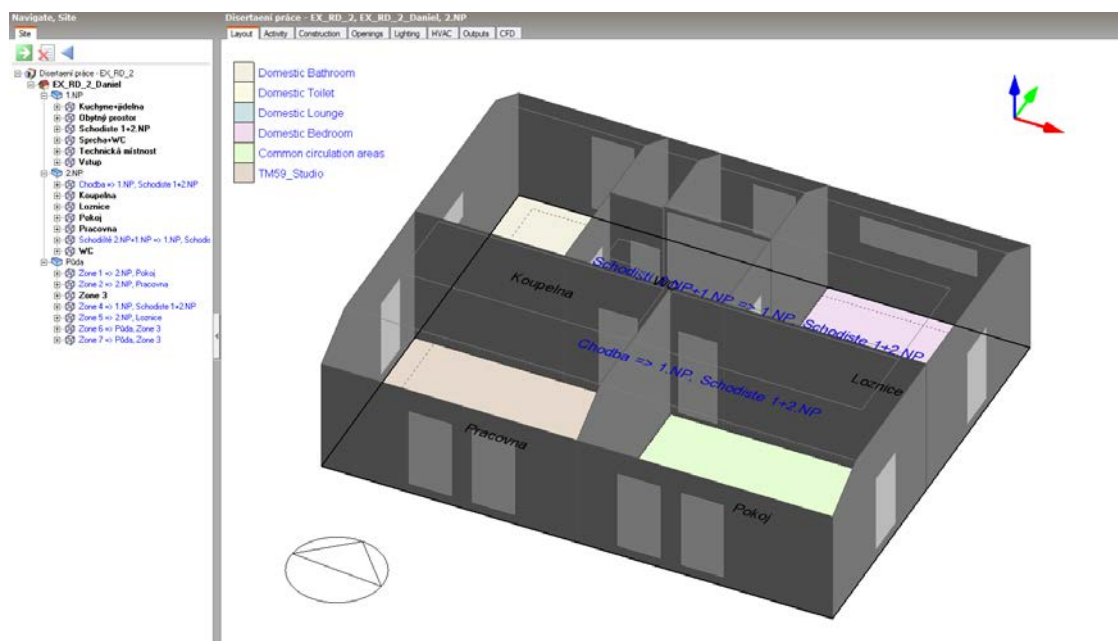
Za tímto účelem byla v souladu se skutečností, která byla konzultována s uživatelem, nastavena teplota vytápění na 22 °C s tím, že pokud dojde k poklesu pod 19 °C, vytápění se automaticky spustí. Idealizací došlo bohužel k eliminaci dubnového výpadku vytápění, který reálně nastal. Dále bylo zohledněno ochlazování místností a s ním spojené větrání, kdy bylo řečeno, že pokud teplota interiéru přesáhne 27 °C, bude vnitřní prostor větrán s různou intenzitou dle příslušných a dále zmíněných norem, která vychází jak z koncepce větrání v čase. Koncepce uvažuje, podle stavu vnějších teplot $chmi\theta_{e1}$, velmi intenzivní větrání v nočních hodinách, a naopak velmi málo v denních hodinách. Jsou zohledněny i individuální potřeby uživatelů vycházející z hygienických minim. Ochlazováním/větráním bude dosaženo teploty 25 °C. Z následujících snímků viz **Obr. 35**, **Obr. 36** a **Obr. 37** je možné pochopit vnitřní uspořádání místností.



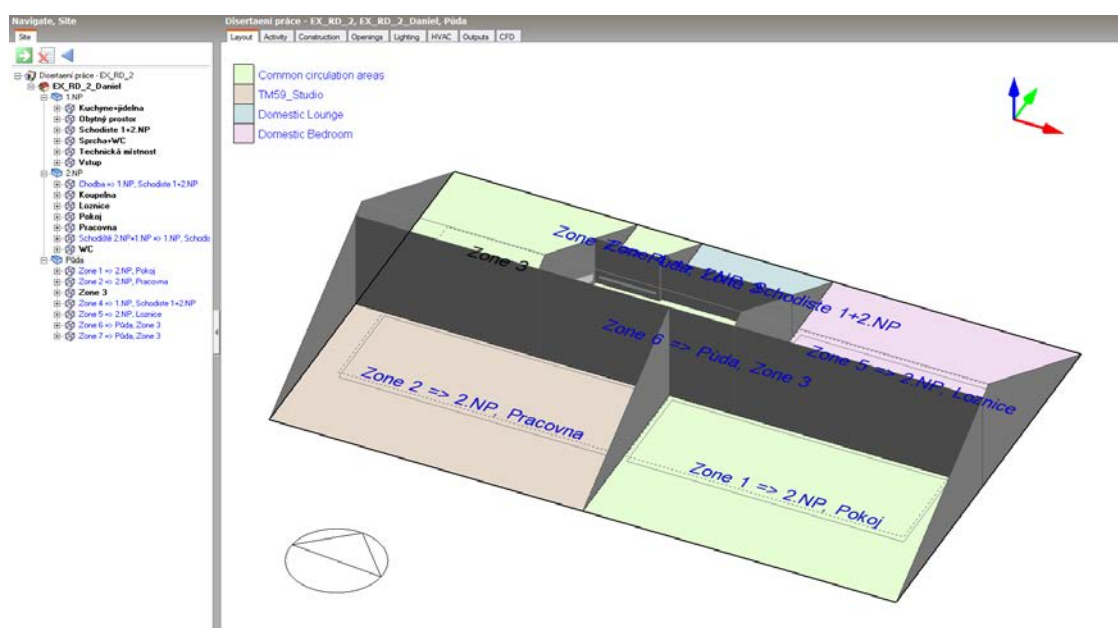
Obr. 35 Objekt EX_RD_2 vymodelovaný v programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]



Obr. 36 Objekt EX_RD_2 – Schéma provozů a místností 1.NP [32]



Obr. 37 Objekt EX_RD_2 – Schéma provozů a místností 2.NP [32]

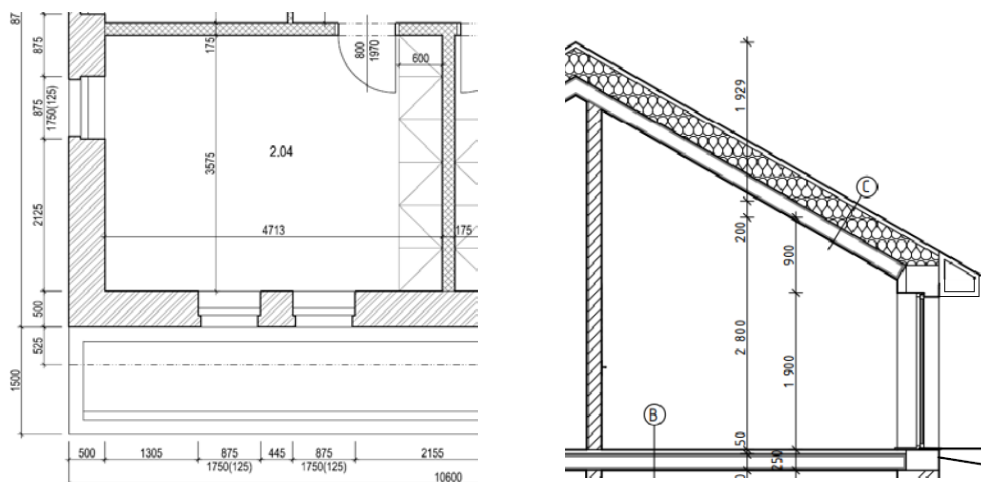


Obr. 38 Objekt EX_RD_2 – Schéma řešení půdního a podstřešního prostoru [32]

Z Obr. 38 je patrná plná a nutná geometrie, se kterou byl vymodelován tzv. podstřešní prostor, ve kterém se mimo jiné nachází i půda, v níž je umístěno samotné měřicí zařízení. Jelikož jsou data, která jsou používána v práci pro dosažení cílů, zachycena pouze v místnosti 2.04 Pracovna, bude dalšímu a podrobnějšímu zkoumání podrobena pouze zóna 2.NP Pracovna + Zone 2 => 2.NP, Pracovna. Výsledná sjednocená zóna zachycuje celý vnitřní prostor zkoumané místnosti, včetně všech povrchů, ploch a provozů.

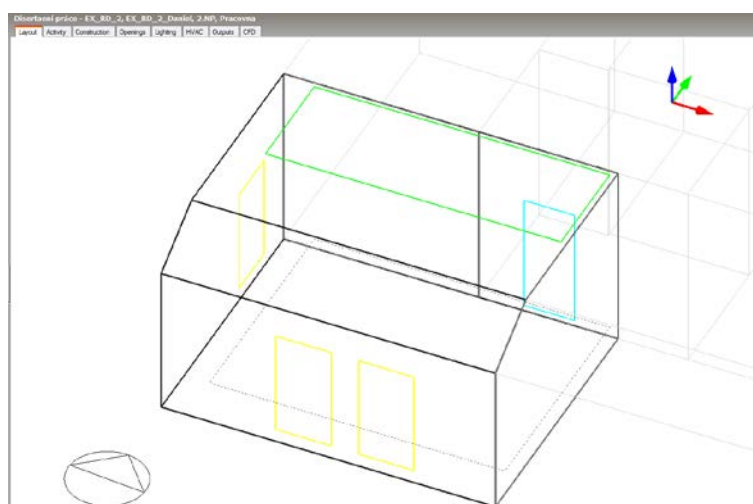
F.4.3 Popis zkoumané zóny simulace

Předmětná místnost 2.04 Pracovna se nachází v jihozápadní části 2.NP objektu EX_RD_2 s orientací teplosměnných konstrukcí stěny a zejména hmotné nosné konstrukce šikmé střechy ostře na jih a dále zbývajících teplosměnných konstrukcí stěny s orientací na jihozápad až západ. Jedná se o solárně velmi značně dotovanou místnost, jak již ostatně bylo zmíněno a potvrzeno v předchozích kapitolách. Natočení objektu je možné charakterizovat jako natočení topografického azimutu od severu o hodnotě 185° . Geometrie místnosti je patrná viz **Obr. 39**.



Obr. 39 Objekt EX_RD_2 – Půdorys a řez místnosti 2.04 Pracovna [32]

Z půdorysu a řezu je patrné, že je dle dokumentace místnost částečně stíněna střechou pomocí přetažení okapu s následným podbitím. Jak je však patrné z kapitoly D.2. *Výběr objektu*, přetažení je vytvořeno odlišným způsobem a současně po celou dobu sběru dat nebylo dokončeno podbitím. V rámci korektnosti bylo v modelu objektu vynecháno. Výslednou geometrii předmětné zóny je možné si prohlédnout viz **Obr. 40**. Zelený rámeček poté značí napojení místnosti zónu půdy z důvodů dosažení korektních objemů a ploch.



Obr. 40 Objekt EX_RD_2 – Modelová geometrie místnosti 2.04 Pracovna [32]

Parametry, kterými model pro svou kompletaci disponuje a které popisují pouze prostor samotné místnosti, stejně jako tepelně technické parametry teplosměnných konstrukcí, jsou shrnuty viz **Tabulka 23**. Jsou opětovně uvedeny pouze informace, které souvisí s klíčovými

vstupními informacemi z hlediska programu DesignBuilder. Jedná se o plochy A a součinitele prostupu tepla U . Další vlastnosti, jako konkrétní použité materiály, objemovou hmotnost ρ a měrnou tepelnou kapacitu c lze zjistit viz **Příloha č. 1**.

Parametry	Podl./Strop	Int. stěny	Obv. stěny	Int. dveře	Okna	Stř. plášť
A [m ²]	22,298	34,792	26,011	1,576	4,593	25,691
U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,410	0,728	0,177	2,823	0,69	0,103
Objem místností (2.04) 47,86 m³, činitel prostupu sluneční energie oken $g_g=0,612$						

Tabulka 23 Vlastnosti předmětné zóny 2.04 Pracovna [32]

Z vlastností je patrné, že objekt vykazuje, stejně jako EX_RD_1 viz kapitola *E.1.2 Popis zkoumaných zón simulace* velmi dobré tepelněizolační vlastnosti. Vzhledem k povaze simulace nebylo do prostředí programu použito PENB jiným způsobem než pro účely korelace jednotlivých vstupních parametrů simulace. Co se týče samotné skladby střešního pláště, jsou informace a její další parametry totožné s **Tabulka 11** kapitoly *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*.

F.4.4 Vstupní vnější okrajové podmínky simulace

Simulace vycházejí z dat stanice B2POHO01 z roku 2019 až 2021, které byly použity v rámci kapitol *E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací*, *F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce* a *F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu*. Rozdílem je použití veškerých nasbíraných dat. Aby bylo možné správně pracovat s daty, byl vytvořen formát povětrnostních dat programu DesignBuilder s koncovkou .EPW [131], který byl nad rámec všech teplot $chmi\theta_{e1}$, relativní vlhkosti vzduchu $chmi\phi_{e1}$ a solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ doplněn také tlakem p_a , rychlostí $chmiV_a$ a směrem větru $chmiD$ a dále také teplotou rosného bodu θ_{dp} vypočítanou dle vzorce (75) viz kapitola *D.3.5 Kompilace modelu DesignBuilder*. Soubor svými informacemi odpovídá kapitole *E.4.1 Výběr kritických časových úseků pomocí dat stanice B2POHO01* a dále data rozšiřuje na celé sledované období.

F.4.5 Vstupní vnitřní okrajové podmínky simulace

Pro korektnost simulace z hlediska formulace okrajových podmínek je vhodné zopakovat znovu již uvedené kroky, kterých bylo učiněno v rámci definování vnitřního prostředí a které byly konzultovány a optimalizovány s uživateli objektu.

Objekt EX_RD_2 slouží dvěma dospělým osobám, jejichž chování bylo zohledněno ve využití místností z hlediska hustoty osob a z hlediska doby užívání místnosti dle příslušné databáze programu. Aby bylo možné správně zohlednit nejdůležitější prvky a sice větrání, chlazení a vytápění, bylo přistoupeno k několika krokům. Topné období je vyřešeno tak, že pokud klesne teplota interiéru θ_{ai1} , v tomto případě radiační teplota, pod 19 °C, dojde k sepnutí vytápění a po dosažení teploty θ_{ai1} 22 °C je opět vypnuto. Idealizace vede k eliminaci dubnového výpadku vytápění. Pokud se jedná o potřebu snížení teploty v letních měsících, lze diskutovat o kombinaci chlazení a větrání, kdy je snížení teploty řešeno tak, že pokud teplota interiéru θ_{ai1} přesáhne radiační teplotu v interiéru 27 °C, dojde v závislosti na denní době na snížení teploty pomocí větrání či chlazení na hodnotu 25 °C.

Větrání je řešeno idealizací na základě hygienických požadavků, která dosahuje hodnot intenzity výměny vzduchu dle příslušného měsíce 0,36 – 4,95 h⁻¹. V rámci simulace je nastavena ventilace/větrání v zimě a přechodových měsících na hygienické limity dle ČSN EN 15665 [55] a vyhlášek 268/2009 Sb. [132] a vyhlášky 20/2012 Sb. [133]. Pro přechodové a letní období jsou

limity normy uvažovány jako minimální požadované a intenzita výměny vzduchu je řešena dle aktuálních potřeb uživatele a stavu vnitřního prostředí dle výše uvedených teplot. To vede k minimálnímu přirozenému větrání v denních hodinách o hodnotách cca $0,36 \text{ h}^{-1}$, a naopak maximalizaci výměny vzduchu rozdílem parciálních tlaků vnitřního a vnějšího prostředí v hodinách nočních dosahujících hodnot $4,95 \text{ h}^{-1}$. Výměna vzduchu v denních hodinách je poté při nutnosti dodržení normových limitů realizována nuceně. Ačkoliv je idealizace značná, vystihuje nejlépe stav, kterým reálný objekt skutečně prochází, jak je dokázáno kapitolou *F.4.6 Procentuální podobnost simulací vůči výchozímu stavu*.

F.4.6 Procentuální podobnost simulací vůči výchozímu stavu

Vzhledem k charakteru simulace není nutné a současně možné s dostatečnou přesností řešit její podobnost se skutečností, tedy s experimentálně naměřenými hodnotami, které byly použity v rámci kapitol *E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací*, *F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce* a *F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu*. Nemožnost vzniká díky množství idealizací, kterým celá simulace podléhá, které vstupují do výpočtu a které není možné přesně a správně kvantifikovat.

Aby bylo možné přesně vyhodnotit různé druhy natočení, je z hlediska přesnosti jediným možným řešením full-scale modelace. Avšak vzhledem k tomu, že byl co nejpřesněji vytvořen model s přihlédnutím k faktu, že jediným parametrem, který podléhá změně je orientace objektu vůči světovým stranám, lze pokládat přesnost za dostatečnou. Jak dokazuje následující tabulka viz **Tabulka 24**, je podobnost výchozí simulace programu DesignBuilder vůči realitě značná a prokazuje přijatelné hladiny přesnosti.

Průměrná podobnost simulace a reality [%]											
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
93,89	93,66	91,25	94,43	96,93	97,32	95,06	95,20	91,42	99,01	95,60	94,85

Tabulka 24 Podobnost simulace výchozího stavu orientace a experimentálního měření [32]

Způsobem hodnocení, který byl zvolen, je porovnání různého natočení objektu se simulací výchozího stavu objektu, tedy orientaci odpovídající realitě a mající hodnotu topografického azimutu 175° .

Vyhodnocení probíhá na předem určené místnosti 2.04 Pracovna, kdy je sledována teplota vzduchu θ_{ai} (**VZD.** [$^\circ\text{C}$]), radiační teplota θ_{rad} (**RAD.** [$^\circ\text{C}$]) a operativní teplota θ_{ope} (**OPER.** [$^\circ\text{C}$]). Dále je pro hlubší pochopení problematiky jsou sledovány energie vytápění (**VYT.** [**kWh**]), chlazení (**CHLA.** [**kWh**]), ventilace místnosti (**VENT.** [**kWh**]) a solární zisky či ztráty (**SOL.** [**kWh**]). Data prezentována v textu jednotkami, v tabulce viz **Tabulka 25** jsou zastoupeny pouze procenty.

F.4.7 Výsledky simulace a srovnání jednotlivých variant

Pro vyjádření procentuální podobnost simulací jasně daným a kvantifikovaným číslem rozdílnosti simulací v časové úseky, v tomto případě jednotlivé měsíce roku 2020, bude výchozí/reálný stav natočení objektu použit jako základní datový set sloužící jako srovnávací rovina. K datovému setu bude vyjádřena v procentech kladná či záporná podobnost. Vzhledem k problematice vyjádření budou použita dvě barevná schémata, a sice zelené, kdy vykazuje vyšší hodnoty výchozí simulace, a červené, kdy simulace natočení vykazuje vyšší hodnoty. Aby bylo možné pochopit komplexně chování místnosti při různém natočení, bylo vytvořeno celkem

8 simulací, které odpovídají natočení vůči světovým stranám, tedy jih, jihozápad, západ, severozápad, sever, severovýchod, východ a jihovýchod. Simulace, pojmenované 1 až 8, jsou následně společně s barevnými schémata analyzovány a popsány v následující kapitole. Data jsou patrná viz **Tabulka 25**.

Simulace 1 – Natočení azimut 180° – Jih								Simulace 2 – Natočení azimut 225° – Jihozápad							
	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
01	0,005	0,002	0,004	5,522	-	0,054	0,748	0,351	0,651	0,497	9,965	-	3,185	29,325	
02	0,008	0,041	0,024	4,949	-	0,396	0,876	0,625	1,542	1,078	60,329	-	5,040	34,935	
03	0,046	0,102	0,074	0,719	-	0,760	0,997	0,336	1,407	0,875	41,690	-	5,216	24,996	
04	0,016	0,057	0,037	1,762	-	-	1,141	0,137	0,644	0,396	18,680	-	-	13,276	
05	0,060	0,115	0,088	0,767	2,572	-	0,882	0,103	0,151	0,128	0,164	7,616	-	0,150	
06	0,023	0,050	0,037	0,299	0,636	-	0,532	0,115	0,228	0,173	2,012	11,281	-	3,910	
07	0,073	0,108	0,091	0,486	1,107	-	0,998	0,106	0,097	0,101	0,136	4,952	-	0,238	
08	0,081	0,118	0,100	0,709	1,758	-	1,191	0,664	0,916	0,794	5,191	9,196	-	9,325	
09	0,021	0,054	0,038	0,771	2,263	-	0,976	0,584	1,102	0,850	14,220	50,992	-	18,309	
10	0,016	0,051	0,034	0,535	-	0,088	0,772	0,322	1,227	0,781	22,365	-	5,392	28,461	
11	0,010	0,034	0,022	1,643	-	1,427	1,103	0,343	1,069	0,702	42,278	-	3,232	36,339	
12	0,033	0,065	0,048	3,601	-	0,117	1,148	0,512	0,917	0,711	7,715	-	5,132	39,142	
Max	0,081	0,118	0,100	5,522	2,572	1,427	1,191	0,664	1,542	1,078	60,329	50,992	5,392	39,142	
Simulace 3 – Natočení azimut 270° – Západ								Simulace 4 – Natočení azimut 315° – Severozápad							
	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
01	0,744	1,433	1,080	10,883	-	7,699	105,41	0,809	1,597	1,193	17,473	-	8,824	153,525	
02	1,483	3,335	2,393	137,175	-	13,684	123,61	1,790	3,966	2,858	140,450	-	16,47	212,287	
03	0,633	2,547	1,592	78,162	-	1,111	70,907	0,806	3,184	1,995	109,854	-	0,861	129,404	
04	0,313	1,301	0,818	38,511	-	-	34,706	0,513	1,860	1,200	57,369	-	-	59,601	
05	0,388	0,630	0,513	4,010	12,354	-	8,860	0,749	1,229	0,997	10,158	74,815	-	24,579	
06	0,029	0,017	0,005	0,709	7,442	-	0,094	0,381	0,536	0,461	3,311	7,269	-	11,610	
07	0,394	0,510	0,454	2,020	0,033	-	6,647	0,799	1,113	0,961	4,977	12,358	-	19,664	
08	1,320	1,861	1,598	10,746	29,498	-	28,044	1,920	2,725	2,334	16,104	61,469	-	54,630	
09	1,114	2,066	1,602	28,196	275,63	-	50,669	1,479	2,753	2,131	40,848	13,177	-	92,454	
10	0,708	2,429	1,578	44,891	-	6,759	90,096	0,867	3,015	1,950	62,513	-	9,236	166,235	
11	0,920	2,215	1,559	58,814	-	10,389	114,10	0,943	2,232	1,578	67,247	-	9,225	158,049	
12	1,017	1,833	1,416	16,012	-	10,105	142,11	1,070	1,912	1,482	10,478	-	10,41	191,369	
Max	1,483	3,335	2,393	137,175	275,63	13,684	142,11	1,920	3,966	2,858	140,450	13,177	16,47	212,287	
Simulace 5 – Natočení azimut 0° – Sever								Simulace 6 – Natočení azimut 45° – Severovýchod							
	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
01	0,707	1,371	1,031	20,978	-	7,401	131,54	0,540	1,061	0,794	19,198	-	5,715	76,481	
02	1,453	3,287	2,355	129,888	-	12,078	168,62	0,922	2,315	1,608	99,920	-	8,361	92,541	
03	0,582	2,515	1,550	71,614	-	0,221	104,41	0,351	1,733	1,045	46,270	-	0,551	62,072	
04	0,428	1,576	1,014	46,926	-	-	50,133	0,216	0,860	0,546	21,330	-	-	27,398	
05	0,857	1,480	1,178	13,815	143,974	-	28,793	0,203	0,325	0,266	2,373	27,315	-	9,805	
06	0,661	1,039	0,856	7,677	31,344	-	20,597	0,094	0,104	0,099	0,996	2,186	-	6,535	
07	0,955	1,419	1,194	6,884	26,073	-	23,746	0,125	0,141	0,133	0,125	0,310	-	5,606	
08	1,782	2,577	2,190	15,082	69,233	-	49,911	0,905	1,289	1,103	7,018	26,316	-	25,218	
09	1,362	2,500	1,945	33,527	10,430	-	77,270	0,979	1,718	1,358	19,672	380,81	-	46,532	
10	0,726	2,536	1,640	46,725	-	7,206	132,84	0,533	1,891	1,220	32,063	-	5,352	79,352	
11	0,651	1,614	1,127	51,778	-	5,362	128,58	0,391	1,117	0,750	38,618	-	3,970	71,158	
12	0,930	1,618	1,267	13,217	-	8,399	156,94	0,700	1,219	0,954	5,617	-	6,175	90,985	
Max	1,782	3,287	2,355	129,89	10,430	12,078	168,63	0,979	2,315	1,608	99,92	380,81	8,361	92,541	
Simulace 7 – Natočení azimut 90° – Východ								Simulace 8 – Natočení azimut 135° – Jihovýchod							
	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	VZD.	RAD.	OPER.	VENT.	CHLA.	VYT.	SOL.	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
01	0,305	0,627	0,462	12,572	-	3,403	33,830	0,072	0,142	0,107	2,262	-	1,051	7,730	
02	0,466	1,196	0,827	44,785	-	3,653	35,336	0,053	0,228	0,140	9,060	-	0,685	7,529	
03	0,124	0,596	0,362	10,650	-	1,448	20,647	0,015	0,060	0,038	0,203	-	0,093	1,626	
04	0,004	0,007	0,005	0,341	-	-	5,008	0,128	0,417	0,276	7,569	-	-	5,024	
05	0,339	0,593	0,470	5,159	15,555	-	3,924	0,515	0,876	0,702	7,222	29,131	-	9,609	
06	0,318	0,525	0,425	3,219	14,659	-	3,342	0,461	0,752	0,611	4,688	16,366	-	7,603	
07	0,509	0,781	0,649	4,259	12,413	-	6,777	0,691	1,041	0,872	5,420	15,530	-	10,927	
08	0,049	0,080	0,065	0,818	1,475	-	3,176	0,482	0,700	0,594	3,909	12,010	-	7,105	
09	0,312	0,478	0,397	4,150	45,309	-	14,347	0,079	0,188	0,135	2,388	6,911	-	0,897	
10	0,277	0,871	0,579	11,473	-	1,136	28,955	0,100	0,227	0,165	2,324	-	0,059	5,905	
11	0,172	0,572	0,370	28,889	-	0,527	29,633	0,007	0,042	0,025	2,179	-	0,185	4,853	
12	0,424	0,726	0,572	0,458	-	3,852	34,965	0,069	0,114	0,091	5,703	-	0,357	5,346	
Max	0,509	1,196	0,827	44,785	45,309	3,852	35,336	0,691	1,041	0,872	9,060	29,131	1,051	10,927	

Tabulka 25 Procentuální srovnání simulace 1 až 8 s výchozím stavem [32]

Před analýzou je nutné dodat, že vyobrazené barevné schéma viz **Tabulka 25** nevypovídá o vhodnosti nebo nevhodnosti samotné orientace teplosměnné konstrukce v jednotlivých časových obdobích. Slovním hodnocením vhodnosti se zabývá právě následující kapitola.

F.5 Analýza vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám

Kapitola se zabývá hodnocením dat předchozí kapitoly za účelem dosažení odpovědi na cíl 3 prezentovaný v kapitole *C.1 Vytyčení cílů*. Jak je patrné viz **Tabulka 25**, je chování vůči výchozímu stavu relativně predikovatelné, zejména pokud se jedná o teploty interiéru θ_{ai} . V některých orientacích, nebo časových obdobích, můžeme sledovat, ať už jde o intenzitu větrání, chlazení, ventilaci nebo solárních zisků okny, velmi překvapivé chování. Analýza celého datového setu nám pomůže pochopit vliv, který má orientace hmotného pláště šikmé střechy na chování vnitřního prostředí a nároků na jeho případnou stabilizaci.

Následující text analyzuje a zkoumá hodnoty, které jsou prezentovány v kapitole *F.4.7 Výsledky simulace a srovnání jednotlivých variant*, které jsou vztaženy ke konkrétní místnosti konkrétní budovy. Je velmi pravděpodobné, že by se dílčí závěry lišily při analýze jiné zóny, avšak i díky relativní subjektivnosti výsledků lze vyvodit chování a nároky, které s sebou orientace hmotného pláště šikmé střechy nese.

F.5.1 Analýza simulace 1 – Natočení azimut 180° – Jih

F.5.1.1 Analýza teplot simulace 1

Simulace vede z hlediska teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} k všeobecně vyššímu průběhu, který však nepřesahuje 0,118 % odchylku teploty θ_{rad} od výchozího stavu, což je podstatně zanedbatelná hodnota. Vzhledem k orientaci lze pozorovat také mírný pokles teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} v měsíci lednu až březnu, avšak opět o velmi malé procento. Můžeme zachytit mírně vyšší teploty v přechodových měsících a měsíci prosinci. Z hlediska teplot je orientace všeobecně, i navzdory mírným nárůstům teplot, téměř shodná s výchozím stavem. Lze říct, že v letní měsíce však vede k horšímu stavu vnitřního prostředí, kdy je nutné počítat s mírně vyššími teplotami interiéru.

F.5.1.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 1

Ventilace **VENT.** při této simulaci dosahuje ve většině sledovaných měsíců daleko vyšších hodnot než u výchozí orientace, což vypovídá o vyšších nárocích na stabilizaci vnitřního prostředí právě touto metodou. Ačkoliv rozdíl nedosahuje odchylky **VENT.** více než 5,52 %, jedná se o nezanedbatelný fakt. Paradoxem k jevu je naopak chlazení **CHLA**, jehož nároky jsou nižší o cca 2,57 %, což je výhodné. Oproti tomu lze pozorovat s výjimkou měsíce ledna a února mírný nárůst v nárocích na vytápění **VYT.**, kdy po většinu topného období je nutná vyšší dodávka tepla. Nižší nároky na chlazení a vyšší nároky na vytápění mají základ v solárních ziscích **SOL.**, které jsou o cca 0,53 až 1,19 % nižší, což je paradoxem vůči k vyšším teplotám interiéru θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} .

F.5.1.3 Hodnocení orientace simulace 1

Drobná změna orientace o pouhých 5° vede k navýšení teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} , nároků na ventilaci **VENT.** a vytápění **VYT.** při současném poklesu nároků na chlazení **CHLA**, to vše při poklesu solárních zisků **SOL.** Z hlediska letních měsíců jde o nevýhodné natočení, kdy je velmi pravděpodobné, že samotné teplosměnné plochy jsou vystaveny dlouhodobější dodávce tepla než u výchozího stavu, což vede sice k nižším nárokům na chlazení, ale vyšším nárokům na větrání vnitřních prostor. Lze vyvodit, že pokud se zaměříme na zimní a přechodové měsíce, tak ztráta

i pouhých několika procent solárních zisků okny vede k navýšení nároků na vytápění, což není vzhledem k téměř nezatelnému nárůstu teplot v interiéru příznivé. Přesto je nutné si uvědomit, že diskutujeme o velmi nevýznamné změně orientace, která však začíná vypovídat o přímé závislosti solárních zisků jak na teploty, tak i na energii, kterou předává do vnitřního prostředí a která je klíčová pro fungování hmotných pláštěů šikmých střech. Orientace je všeobecně méně vhodnou než výchozí stav, ale pro zimní a přechodové období vhodná.

F.5.2 Analýza simulace 2 – Natočení azimut 225° – Jihozápad

F.5.2.1 Analýza teplot simulace 2

Ve všech měsících s výjimkou měsíce června můžeme vidět pokles teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} napříč všemi spektry. Ačkoliv se nejedná o výrazné procentuální propady hodnot, které dosahují zejména v radiaci θ_{rad} nejvyššího snížení o cca 1,54 %, je pokles teplot významným z hlediska ventilace **VENT.**, vytápění **VYT.** či chlazení **CHLA.** Současně lze očekávat, že se pokles promítne výrazněji na solárních ziscích **SOL.** Z hlediska jednotlivých měsíců je orientace výhodná zejména v letním období. Naopak je horší v zimním a poté v přechodovém období.

F.5.2.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 2

Nároky varianty jsou všeobecně výrazné a logicky nižší, než je tomu u výchozí varianty. Můžeme vyzorovat značný pokles ve ventilaci **VENT.** vnitřních prostor, kdy je znatelný pokles v přechodovém období s maximálním poklesem až 60 % a s mírným nárůstem v měsíci červnu.

Je patrný rozdíl z hlediska chlazení **CHLA.**, kdy lze pozorovat vyšší hodnoty simulace v měsíci květnu až červenci s rozdílem až 11,28 %. Opakem je až o 51 % nižší nárok na chlazení v přechodovém měsíci září. Lze vyzorovat všeobecně vyšší nároky na vytápění **VYT.** během zimních měsíců a nižší nároky na vytápění v přechodové měsíce březnu a říjnu. Přechodová období jsou tedy vhodná, avšak časové rozložení je méně příznivé. Co se týče solárních zisků **SOL.**, můžeme vidět značný pokles, který dosahuje maxima až 39,14 % s tím, že průměrně se pohybujeme kolem cca 31 % poklesu. Celkově pokles vypovídá o celkových nárocích skladby.

F.5.2.3 Hodnocení orientace simulace 2

Otočení skladby o 225° směrem na západ vede ke všeobecnému snížení teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} napříč celým rokem jak ve vhodných letních měsících, tak méně vhodných přechodových měsících, až po nevhodné zimní měsíce. S výjimkou letních měsíců se jedná o vhodné natočení, kdy stále paradoxem zůstává měsíc červen s jeho vyšším průběhem teplot, než výchozí stav. To vede všeobecně k nižším nárokům na ventilaci **VENT.**, avšak mírně vyšší nároky na chlazení **CHLA.** od měsíce května do července. Lze pozorovat vyšší nároky na vytápění **VYT.** v zimní měsíce a nižší nároky na vytápění z hlediska přechodových měsíců. Pozorovatelný je značný pokles v solárních ziscích **SOL.**, který se odráží ve všech nárocích na vnitřní prostředí. Orientace je méně vhodná z hlediska části zimních měsíců, kdy je nutné díky nižším solárním ziskům objekt intenzivněji vytápět. Je pozorovatelná výhoda přechodových měsíců, kdy je vytápění naopak nižší a příznivé. V letních měsících lze říct, že kromě měsíce července je orientace výhodná, má nižší solární zisky, menší nároky na ventilaci, avšak také až o 11,28 % vyšší nároky na chlazení.

F.5.3 Analýza simulace 3 – Natočení azimut 270° – Západ

F.5.3.1 Analýza teplot simulace 3

Lze vidět velmi podobné chování teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} , jako u simulace 2, což nás dále utvrzuje v přímé závislosti skladby na solárních ziscích. Co se týče rozdílů, radiace θ_{rad} opět

dosahuje vysokých hodnot, průměrně cca 2 % s maximem až 3,34 %. Můžeme očekávat, že trend poklesu solárních zisků a bude nadále pokračovat. Z hlediska jednotlivých měsíců lze opět prohlásit, že je orientace výhodná zejména v letním období. Naopak je orientace opětovně horší v zimním a poté zejména přechodovém období a lze očekávat, že trend bude nadále pokračovat.

F.5.3.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 3

Ventilace **VENT.** vnitřního prostředí, která je klíčová pro udržení, se v případě varianty nadále snižuje a dosahuje až maximálního rozdílu 137 %, což značí velký pokles z hlediska solárních zisků **SOL.** Je možné si povšimnout značného poklesu v chlazení **CHLA.**, kdy vlivem velmi malé hodnoty u simulace 3 a naopak vysoké hodnoty u výchozího stavu můžeme vidět v měsíci září obrovský procentuální rozdíl. Přesto zůstává nutnost chladit vnitřní prostředí v měsíci červnu a červenci, avšak s velmi nízkými nároky. Lze pozorovat postupný a logický nárůst v požadavcích na vytápění **VYT.** vnitřních prostor, kdy se zvyšují hodnoty pro měsíce leden, únor, listopad a prosinec. Výhody solárních zisků, které byly vyšší u simulace 2 a které pasivně vytápěly vnitřní prostor, jsou nyní výrazně nižší a vedou k poklesu teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} i v přechodových měsících. Solární zisky jsou až o 142 % nižší, než při výchozím stavu a lze očekávat, že trend poklesu bude pokračovat.

F.5.3.3 Hodnocení orientace simulace 3

V kontrastu předchozí simulace lze pozorovat další a vyšší poklesy teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} v jednotlivých měsících, což vede opět k výhodnému letnímu období. Pokud se zaměříme na potřeby ventilace **VENT.**, můžeme odvodit stejné závěry jako v kapitole *F.5.2 Analýza simulace 2 – Natočení azimut 225° – Jihozápad*, tedy že potřeby s nižšími solárními zisky **SOL.** klesají. Zůstává potřeba chlazení **CHLA.**, i když lze vidět značný pokles. Znatelná je vyšší potřeba vytápění **VYT.** Na základě dílčích závěrů lze konstatovat, že orientace je více výhodná pro letní období, kdy vede na příznivé teploty a nižší nároky na větrání a chlazení. Je možné vyvodit závěr, že se varianta relativně dobře chová také v přechodovém období, kdy zachycujeme nižší potřebu na vytápění. Současně je patrné, že pokračující trend bude dále problematický a bude klesat do okamžiku, kdy bude orientace v přechodových měsících nevýhodná. Je možné pozorovat menší výhodnost orientace v zimních měsících než u předchozí simulace 2.

F.5.4 Analýza simulace 4 – Natočení azimut 315° – Severozápad

F.5.4.1 Analýza teplot simulace 4

Trend průměrného poklesu teplot ve všech sledovaných hodnotách teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} u předmětné simulace i nadále pokračuje a můžeme vidět jedny z nejnižších hodnot se všech orientací, kdy je opět největší rozdíl patrný u radiační teploty θ_{rad} , která oproti výchozímu stavu dosahuje poklesu o cca 4 %. Pokles je způsoben nedostatečnými solárními zisky **SOL.** a faktem, že veškeré teplosměnné plochy jsou v tomto případě natočeny z vyšší části pouze na sever. Ačkoliv lze říct, že varianta je z hlediska teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} vhodná v letním období, vede k relativně nepříznivým teplotám v zimních a přechodových měsících, kdy je nasnadě vyvodit závěr vyšší potřeby energie na stabilizaci tohoto prostředí při nižších teplotách exteriéru.

F.5.4.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 4

Současně s poklesem teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} můžeme vidět pokračující pokles také v nárocích na udržování vnitřního prostředí ohledně ventilace **VENT.**, nebo chlazení **CHLA.** Jak je patrné z **Tabulky 25**, dochází až k 140 % rozdílu ventilace oproti výchozímu stavu, tedy velmi výraznému uspoření energie. Současně si lze povšimnout velmi značného poklesu v nárocích na

chlazení, který dosahuje velmi malých hodnot. Hodnota chlazení **CHLA.** v měsíci září není numerickou chybou simulace, ale velmi malou hodnotou, kterou musí skladba vynaložit oproti vysokému nároku výchozího stavu. Je patrné, že i přes stále se prohlubující rozdíl ve vytápění **VYT.** v přechodových měsících je skladba stále v těchto měsících výhodná. V kontrastu je vidíme značný nárok v nárocích v měsících lednu, únoru, listopadu a prosinci, kdy potřeba vytápění roste až o maxima dosahující 16,47 %. To vychází z poklesu solárních zisků **SOL.**, které jsou v průměrně o cca 106 % nižší s tím, že maxima dosahují až 212 % rozdílu. Lze prohlásit, že simulace/orientace teplosměnných konstrukcí bude mít za následek výrazné nároky na vytápění.

F.5.4.3 Hodnocení orientace simulace 4

Díky orientaci obou teplosměnných ploch vůči severu a všeobecnému poklesu solárních zisků **SOL.**, který dosahuje v případě simulace nejvyššího procentuálního deficitu oproti výchozímu stavu, lze simulaci 4 prohlásit za nejpřínosnější z hlediska letních měsíců. Klesající nároky na větrání **VENT.** a chlazení **CHLA.** vedou ke výhodné stabilizaci vnitřního prostředí. Problém nastává v dalších obdobích, kdy v zimních a částečně i přechodových měsících už je patrný solární deficit a zisky, které s sebou přináší. Následkem lze pozorovat problém v poklesu teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} i za vydání více energie. Orientace je díky tomuto jevu značně nevýhodná v zimních a přechodovém období. Výhody ohledně snížení nároků na udržení teplot v letním období již není možné pokládat plně za přínosné.

F.5.5 Analýza simulace 5 – Natočení azimut 0° – Sever

F.5.5.1 Analýza teplot simulace 5

Paradoxem simulace 5 je menší procentuální rozdíl s výchozím stavem, než je tomu u simulace 4, což značí mírný nárůst teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} a zlepšení stavu. Na základě hodnot teplot lze vyvodit závěr, že je orientace vhodná pro letní období, kdy vede ke snížení teplot. Současně můžeme vidět opětovný pokles teplot i v zimních a přechodových obdobích, který je značně menší než u simulace 3. Orientace je méně vhodná pro zimní období, avšak stále relativně vhodná například pro přechodové měsíce. Závěr je dán faktem natočení jedné z teplosměnných ploch stěn vůči východu.

F.5.5.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 5

Nároky na udržení stálého a teplotně vhodného vnitřního prostředí jsou výhodné jak v létě, tak také v přechodových obdobích. Lze pozorovat pokles na nároky ventilace **VENT.**, kdy maximální rozdíl dosahuje cca 130 %. K tomu se váže mírně vyšší potřeba na chlazení **CHLA.**, která vůči předchozí simulaci 4 vychází mírně vyšší, což značí lepší solární zisky **SOL.** Lze pozorovat snížení procentuálního rozdílu mezi simulací a výchozím stavem z hlediska potřeb vytápění **VYT.** Měsíc březen je sice nevýhodným a je nutné jej vytápat více než v případě reálného výchozího natočení, avšak současně lze pozorovat mírné poklesy nároků v ostatních měsících, což vede k mírnému zlepšení celé situace tepelné stabilizace. Celý stav a nároky je opět možné vztáhnout k solárním ziskům **SOL.**, které jsou opět nižší než u výchozí orientace o průměrně 89,45 % a maximem až 168,63 %. Lze pozorovat zlepšení oproti simulaci 4.

F.5.5.3 Hodnocení orientace simulace 5

Oproti předchozí simulaci 4 pozorujeme jak mírné zlepšení v podobě všeobecného nárůstu teplot θ_{ai} , θ_{rad} i θ_{ope} , tak také snížení nároků na stabilizaci vnitřního prostředí v zimě pomocí vytápění **VYT.** Lze pozorovat příhodné stavy v přechodových měsících, avšak současně je nutné do skladby dodat více tepla vytápěním **VYT.** v měsíci březnu. Celkově je možné

konstatovat, že je orientace vhodná pro letní měsíce, kdy vede k nižším teplotám a snížení energetické náročnosti na stabilizaci, ať větráním **VENT.**, nebo vytápěním **VYT.** V přechodových měsících se blížíme hranici nevýhodnosti, jak je pozorovatelné na nutnosti vytápění i v měsíci březnu díky nižším solárním ziskům **SOL.** Můžeme konstatovat, že se orientace stále částečně v tomto období vyplatí. Z hlediska zimních měsíců je dle výsledků orientace méně vhodná. Lze očekávat, že při porovnání výsledků mezi simulací 4 a 5 opět dochází k opětovné akumulaci solárních zisků vhodným natočením. Při další simulaci, tedy simulaci 6, je velmi pravděpodobné, že se rostoucí trend procentuálního nárůstu teplot, větrání, chlazení, vytápění a solárních zisků začne více blížit výchozímu stavu. Nevýhodou orientace je rostoucí potřeba vytápění v přechodových měsících.

F.5.6 Analýza simulace 6 – Natočení azimut 45° – Severovýchod

F.5.6.1 Analýza teplot simulace 6

Teplotně se simulace 6 začíná přibližovat výchozímu stavu, jak můžeme vidět na průměrném poklesu procentuálních rozdílů teplot θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} , který dosahuje nejvyšších hodnot v případě radiace θ_{rad} 2,315 %. Je patrné, že působením dotace solárních zisků **SOL.**, jak bude důkladně zanalyzováno v následující kapitole, nastává z hlediska letních měsíců postupné přiblížení se k výchozímu stavu. Při simulaci 6 orientace vůči severovýchodu to nenastává a je možné si povšimnout nižších teplot napříč celým ročním obdobím. Lze tedy vyvodit vhodnost orientace pro letní období, avšak nevhodnost pro jiné měsíce.

F.5.6.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 6

Oproti předchozím nízkým nárokům na letní období, kterými se vyznačuje simulace 3 až 5, lze pozorovat mírný nárůst ve všech požadavcích a pomalé přiblížení se výchozímu stavu. Můžeme vidět stále výhodné nároky na větrání **VENT.**, které jsou trvale nižší, avšak současně je si lze povšimnout rostoucích procentuálních hodnot chlazení **CHLA.**, které například v měsíci červnu a červenci přerostou nároky výchozího stavu. Jev tedy hovoří ve prospěch výchozí orientace. Vzhledem k rostoucímu trendu ohledně chlazení lze pozorovat naopak klesající trend požadavků na vytápění **VYT.**, který vykazuje nižší hodnoty a stává se oproti předchozím orientacím výhodnější. Současně je možné pozorovat, že přechodový měsíc březen je z hlediska vytápění problematictější na stabilizaci teplot a v kontrastu k tomu je naopak měsíc říjen na stabilizaci vhodnější. Celý systém nároků je pozorovatelný a předvídatelný ze solárních zisků **SOL.**, které jsou stále nižší než u výchozí orientace. Je pozorovatelný jejich značný růst oproti předchozím orientacím, které byly daleko méně výhodnější, o čemž vypovídá průměrná hodnota **SOL.** u simulace 6 pouze o 48,64 % menší a maximálně o 92,54 % menší než u výchozí orientace, což hovoří o značném růstu. Lze očekávat, že růst bude nadále pokračovat s dalším otočením vůči slunečně vydatným světovým stranám.

F.5.6.3 Hodnocení orientace simulace 6

Simulace odhaluje opětovný návrat k vhodnějším teplotám θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} a nárokům na vnitřní prostředí v zimním a části přechodového období, což značí vhodnější a vyšší solární zisky **SOL.** Přínosnější solární zisky vedou, mimo jiné, ke snížení nároků na vytápění **VYT.** Bohužel nastává problém v přechodovém měsíci březnu, kdy nároky vytápění naopak stoupají. Současně je lze pozorovat mírný nárůst nároků na chlazení **CHLA.** v letním období, což je mírným paradoxem na stále výhodné procentuální hodnoty nároků na ventilaci **VENT.** Na základě uvedených informací je možné vyvodit, že varianta je relativně výhodná i přes mírné nároky na chlazení v létě a na část přechodových měsíců, které na léto navazují. Zbytek přechodových

měsíců navazujících na zimní období však výhodným není a stává se náročnějším z hlediska vytápění. Zimní období nadále v souladu s předchozími orientacemi není vhodné, což lze čekat při masivních solárních ziscích výchozího stavu, avšak je zřejmé, že potřeba na vytápění klesá a lze očekávat, že díky návratu vyšších solárních zisků se opět zimní období stane v návaznosti na úsporu energie v důsledku orientace výhodným.

F.5.7 Analýza simulace 7 – Natočení azimut 90° – Východ

F.5.7.1 Analýza teplot simulace 7

Orientace objektu na východ je z hlediska teplot θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} značně problematickou. V zimním období můžeme vidět nezanedbatelné poklesy oproti výchozímu stavu, které se však stávají pomalu, ale jistě příznivými. Současně také můžeme vidět výhodnost části přechodových měsíců, které předcházejí letnímu období. Problém však nastává v celém letním období, kdy teploty všeobecně vzrůstají, u radiace až o procentuální rozdíl θ_{rad} 0,781 %. Je pravděpodobné, že procentuální nárůst teplot oproti výchozímu stavu s sebou ponese méně vhodné požadavky na stabilizaci.

F.5.7.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 7

Nároky na udržení takto orientovaného prostředí jsou problematické. Lze pozorovat, že požadavky ventilace **VENT.** se v zimních a přechodových měsících snižují, avšak současně vzrůstají v letním období, společně s chlazením **CHLA.**, kdy pozorujeme nárůst nároků simulace 7 oproti výchozímu stavu až o 15,55 %, což je značně nevhodné. Je pozorovatelný pokles nároků na vytápění **VYT.** v zimních a přechodových měsících, které jsou i přes nutnost dodat více energie oproti výchozímu stavu výhodné a maximální rozdíl tvoří cca 3,85 %. Ze solárních zisků **SOL.** je patrný jejich předpokládaný nárůst, který postupně vygraduje ve svých hodnotách v měsících květnu až červenci k překonání výchozího stavu.

F.5.7.3 Hodnocení orientace simulace 7

Nárůst solárních zisků **SOL.** s sebou nese výhodnost teplot θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} v zimním a přechodovém období, kdy lze v rámci stabilizace dodávat menší energetické dotace v podobě vytápění **VYT.** V přechodovém období, které předchází zimě, a zimním období samotném je možné pohlížet na orientaci vůči východu jako na vhodnou. Současně nastává problém v letním období, kdy je nutné daleko více stabilizovat prostředí pomocí ventilace **VENT.** a pomocí chlazení **CHLA.** V letních měsících je orientace nevhodná, značně problematická a je viditelné, že teploty jsou daleko náročnější na stabilizaci. Problém se parciálně přesouvá do přechodového měsíce března, kdy opět orientace díky vyšší potřebě na vytápění není optimální.

F.5.8 Analýza simulace 8 – Natočení azimut 135° – Jihovýchod

F.5.8.1 Analýza teplot simulace 8

Simulace 8 a orientace, ve které objekt se nachází, všeobecně vede k masivnímu nárůstu teplot θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} v celém sledovaném období, kdy výjimku tvoří pouze zimní měsíce, kde je však patrný velmi malý rozdíl teplot oproti výchozí orientaci. Natočení objektu vede k výhodnému zimnímu a přechodovému období. Daleko více je situace problematická pro léto, kdy dochází k dosažení vyšších hodnot i přes vyšší vynaložení energie na chlazení a větrání.

F.5.8.2 Analýza nároků na stabilizaci vnitřního prostředí simulace 8

Udržení optimálního teplotního stavu vnitřního prostředí se stává značně problematické, zejména poté v letních měsících, kdy je nutné masivního vynaložení energie jak na chlazení **CHLA.**, která dosahuje maximálního procentuálního navýšení oproti výchozímu stavu až 29,13 %. Problematické je navýšení nároků na ventilaci **VENT.**, které dosahuje velmi problematického růstu v téměř všech měsících. To vypovídá o vysokém růstu nejen teplot, ale také solárních zisků **SOL.** Paradoxem je zimní období, které i přes značnou solární dotaci vyžaduje vyšší energii na vytápění **VYT.**, než výchozího stavu, avšak rozdíl je nepatrný. Vhodné jsou poté opětovně přechodové měsíce před letním a zimním obdobím, kdy je viditelný pokles v nárocích na vytápění a výrazné přiblížení k výchozímu stavu.

F.5.8.3 Hodnocení orientace simulace 8

Orientace přináší výrazné problémy z hlediska letních měsíců, kdy teploty θ_{ai} , θ_{rad} a θ_{ope} , chlazení **CHOLA.**, ventilace **VENT.** či solární zisky **SOL.** hovoří v jasnou nevýhodnost v tomto kritickém období, kdy je již v měsíci květnu nutné vynaložit značnou energii na stabilizaci teplot. Orientaci lze v létě prohlásit jako nevýhodnou. Opakem jsou zimní a přechodové měsíce, kdy se simulace projevuje jako přínosná a vede v přechodových měsících k lepšímu vnitřnímu prostředí z hlediska teplot než výchozí orientace. V zimním období sice setrvává potřeba vytápět interiér více, avšak procentuální rozdíl je téměř zanedbatelný a lze říct, že v přechodovém i zimním období je orientace výhodná.

Z hodnocení jednotlivých orientací a s ní související závislosti teploty a nároků na stabilizaci teplot vnitřního prostředí je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Simulace a uvedené procentuální rozdíly viz **Tabulka 25** se s velmi vysokou pravděpodobností mohou, v rámci objektu, mírně lišit podle geometrie a míry prosklení předmětné zkoumané místnosti. Konkrétní zkoumaná místnost disponuje 2 teplosměnnými konstrukcemi stěn s výchozí orientací na jih a západ. Při zhotovení pro jiný objekt či místnost je nutné, pro dosažení přesnosti a správné odpovědi na otázku vlivu hmotného pláště šikmé střechy na podstřešní prostor, případnou simulaci provést individuálně. Lze však očekávat podobné hodnoty zachycené u objektu **EX_RD_2**.
- Analýzou dat byla zjištěna maximální odchylka od výchozího stavu u teploty radiace θ_{rad} o hodnotě cca 3,97 %, což v převodu na stupně Celsia vypovídá o rozdílu cca 0,9 °C. Lze vyřknout závěr, že pokud bude místnost trvale užívána, vytápěna, větrána a chlazená, bude její rozdílné teplotní chování v závislosti na orientaci pro uživatele prakticky neznatelné.
- Zcela jiný závěr platí z hlediska nároků na udržení tepelné pohody vnitřního prostředí. Ať už se jedná o větrání **VENT.**, chlazení **CHLA.** či vytápění **VYT.**, je možné vidět i několikanásobné rozdíly mezi jednotlivými orientacemi.
- Dalším závěrem je podpoření závěru analýzy hmotného pláště šikmé střechy kapitoly *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace*, kdy bylo řečeno, že celkové chování vychází primárně ze solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ (**SOL.**) teplosměnné konstrukce. Jak je z analýzy vidět, solární zisky pomáhají negativně i pozitivně měnit teplotní stav vnitřního prostředí. Vliv je umocněn akumulací vlastnostmi, které jsou zanedbatelné a pokud s nimi není uvažováno a pracováno, problematické.

- Z hlediska orientace teplosměnného hmotného pláště šikmé střechy je vhodné si položit otázku v jakém období má být místnost, která konstrukcí disponuje, přínosná a kdy je nutné vynaložit energii na její tepelnou stabilizaci. Lze říct, že pokud se zaměříme na všeobecně vhodnou orientaci, můžeme uvažovat některou z těch, které jsou použitelné pro přechodové měsíce.
- Pro přínosné zimní období je vhodné volit orientaci azimutu 180° - Jih, 225° - Jihozápad, 90° - Východ a 135° - Jihovýchod. Orientace vedou k lepšímu stavu vnitřního prostředí, které není nutné takovou mírou vytápět. Pokud hledáme dále nejlepší orientaci, lze uvažovat o azimutu 90° až 180° .
- Pro přínosné letní období je vhodné volit orientaci azimutu 270° - Západ, 315° - Severozápad, 0° - Sever a částečně také 45° - Severovýchod. Orientace vedou k lepšímu stavu vnitřního prostředí, které si přes letní měsíce vystačí s nižší mírou chlazení a ventilace. Pro nejlepší orientaci lze uvažovat azimut 270° až 0° .
- Pro čistě přínosné přechodové období je možné doporučit azimut 225° - Jihozápad, 270° - Západ, relativně také 90° - Východ a 135° - Jihovýchod. Současně lze uvažovat pro výhodné přechodové měsíce některé z azimutů, které jsou doporučeny pro přínosné zimní období, kdy se orientace vyznačují značnými, a tedy pozitivními solárními zisky.

Tato a předcházející kapitola odpovídá na otázky kladené v kapitole *C.1 Vytyčení cílů*, konkrétně poté plně na cíl 3. Došlo k rozšíření poznání cíle 1. Celkové shrnutí odpovědi na veškeré vytyčené cíle budou uvedeny v kapitole G. *VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE*.

F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu

Kapitola zachycuje kompilaci modelů a výsledky simulací, při kterých byly v rámci dalšího pochopení chování hmotného pláště šikmé střechy simulovány různé stavební úpravy předmětné skladby experimentálního objektu EX_RD_2 za účelem nejoptimálnějšího vylepšení.

F.6.1 Kompilace modelů a typy úprav skladby

Stavební úpravy jsou relativně nenákladnou záležitostí, zejména oproti nucenému větrání, stínění nebo jiné koncepci vnitřního provozu, které vyžadují další finance, nebo je problematické jich dosáhnout. Jedná se o optimální řešení podpory přirozeného chování hmotného pláště.

Varianta 1 – změna tloušťky nosné hmotné konstrukce na 250 mm (s ohledem na dostupné systémy, **Varianta 2a** – změna izolantu na pěnosklo, **Varianta 2b** – změna izolantu na minerální vatu/vlnu, **Varianta 2c** – změna izolantu na PIR, **Varianta 3a** – změna tloušťky větrané vzduchové vrstvy na 60 mm, **Varianta 3b** – změna tloušťky větrané vzduchové vrstvy na 100 mm, **Varianta 4a** – zateplení na vnitřní straně interiéru pomocí minerální vlny/vaty tloušťky 60 mm, **Varianta 4b** – zateplení na vnitřní straně interiéru pomocí EPS tloušťky 60 mm, **Varianta 5a** – umístění DHV na bednění z difuzně otevřených dřevovláknitých desek, **Varianta 5b** – umístění DHV na bednění z difuzně uzavřených dřevotřískových desek s orientovanými vlákny a **Varianta 6** – použití asfaltového pásu s hliníkovou vložkou jako parotěsnicí vrstvy. Vlastností jednotlivých úprav jsou patrné viz **Tabulka 26**. Změny v různé míře mohou ovlivnit přesnost výsledných hodnot, avšak lze je považovat za dostatečně přesné vzhledem k opětovnému využití modelu kapitoly E.4.2 *Kompilace simulačního modelu* dosahujícího vysoké podobnosti. Aby nedocházelo k výrazné změně například vlivem odlišného součinitele prostupu tepla U tepelných izolantů, jsou jejich tloušťky d simulovány tak, aby odpovídající tepelný odpor vrstvy $\sum R_i$ korespondoval s výchozí reálnou skladbou experimentálního objektu.

Var.	Název	Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Porozita n_x [-]	Měrná tep. Kapacita c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Faktor dif. odporu μ [-]	Zabud. vlhkost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Tl. d [m]
1	Pórobeton 25 cm	817	0,72	1004	0,355	10	200	0,25
2a	Pěnosklo ^b	102	0,25	1000	0,041	1500000	-	0,35
2b	Miner. vata/vlna ^b	97	0,965	850	0,035	1,3	-	0,3
2c	Polyisokyanurát ^b	26,5	0,99	1470	0,024	51,5	0,5	0,2
3a	Větraná vzduchová vrstva tl. 60 mm ^c	1,3	0,999	1000	0,4	0,23	-	0,06
3b	Větraná vzduchová vrstva tl. 100 mm ^c	1,3	0,999	1000	0,655	0,13	-	0,1
4a	Miner. vata/vlna ^d	97	0,965	850	0,035	1,3	0,34	0,06
4b	Polystyren EPS ^d	20	0,98	1500	0,04	21,7	0,18	0,06
5a	Dřevovláknitá deska dif. otevřená ^e	625	0,41	1630	0,11	11	79,3	0,015
5b	Dřevotřísková deska dif. uzavřená ^e	650	0,57	1400	0,12	276	76	0,015
6	Asfaltový pás ^a	1400	0,001	1470	0,21	280000	-	0,002

Pozn.

Veškeré informace byly zjištěny z technických listů výrobců a databázi Fraunhofer-IBP + LTH Univerzita Lund.

^a Asfaltový pás je umístěn mezi vrstvy č. 2 a č. 3 viz **Tabulka 11**.

^b Nahrazení vrstvy č. 3 viz **Tabulka 11**.

^c Rozšíření vrstvy č. 6 viz **Tabulka 11**.

^d Tepelný izolant je umístěn mezi vrstvy č. 1 a č. 2 viz **Tabulka 11**.

^e Bednění nahrazuje plně vrstvu č. 4 viz **Tabulka 11**. Vrstva vzduchové vrstvy slabě větrané tedy zaniká.

Tabulka 26 Tabulka parametrů stavebních úprav vrstev jednotlivých modelů [32]

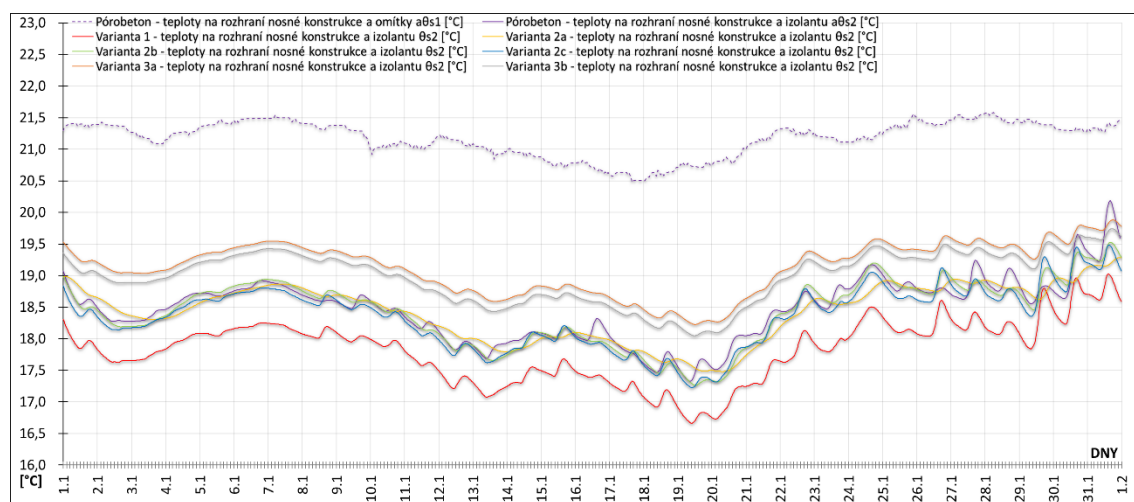
Var.	Součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Celková objemová tepelná kapacita κ [$J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$]	Plošná hmotnost ρ_s [$kg \cdot m^{-2}$]	Plošná tepelná kapacita c_A [$J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$]
1	0,102	3 781 958	259,554	254 450,5
2a	0,106	3 862 368	244,204	237 560,1
2b	0,103	3 842 818	242,704	231 695,1
2c	0,106	3 799 323	218,904	214 751,1
3a	0,103	3 781 958	218,730	213 463,1
3b	0,103	3 781 958	218,782	213 515,1
4a	0,088	3 864 408	224,524	218 384,1
4b	0,089	3 811 958	219,904	215 237,1
5a	0,103	4 799 408	228,014	228 653,4
5b	0,104	4 655 658	228,014	226 497,1
6	0,103	5 839 958	221,784	217 964,7

Tabulka 27 Tabulka tepelně technických parametrů stavebních úprav [32]

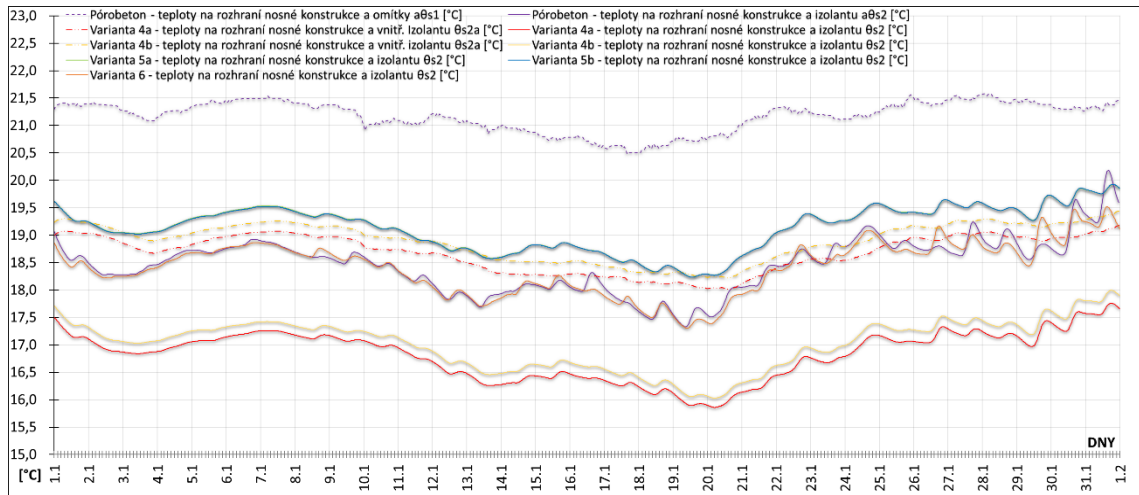
Ostatní vrstvy každé z variant stavebních úprav zůstávají beze změny oproti původnímu modelu odrážejícímu skutečné zpracování skladby viz **Tabulka 11**. Stejně jako u kapitoly *E.4.2 Kompilace simulačního modelu* lze uvažovat se stejnými nepřesnostmi, idealizacemi a dále nemožností zohlednit změny rychlosti $chmiVa$ a směru větru $chmiD$. Přesto lze uvažovat se stejnou podobností těchto modelů a případné skutečnosti. Pro vyjádření výsledků bude použito tabulky popisující teploty na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu θ_{s2} a tabulky zachycující průměrné hodnoty hustoty tepelných toků q_{kl} . Hodnoty na jiných vrstvách nejsou popisovány.

F.6.2 Průběh teplot stavebních úprav ve vybraných časových úsecích

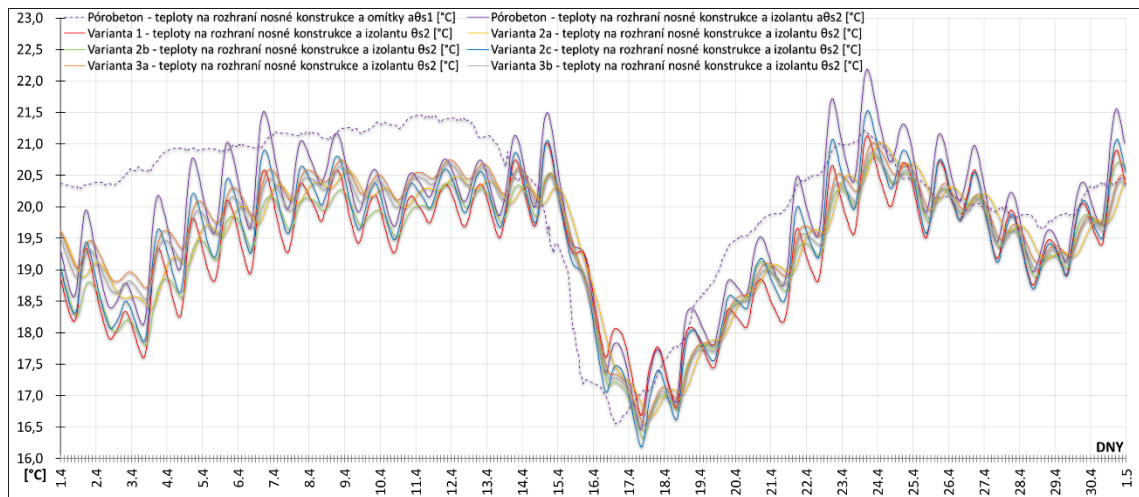
V následující kapitole budou vyobrazeny pouze relevantní a nezkrácené teploty na rozhraní nosné konstrukce a izolantu θ_{s2} v jednotlivých měsících. Ke kroku bylo přistoupeno s ohledem na analýzu jednotlivých průběhů na rozhraní s interiérem θ_{s1} . Teploty jsou na rozdíl od materiálových variant ovlivněny natolik, že jejich průběh není relevantní a odpovídající reálnému stavu. Pokud bychom chtěli dosáhnout přesných teplot na interiéru θ_{s1} , bylo by bezpodmínečně nutné přistoupit k full-scale experimentům, nebo plného nahrazení okrajových podmínek vnitřního prostředí. Vybrané grafy kapitoly *F.6.2 Průběh teplot stavebních úprav ve vybraných časových úsecích* jsou pro lepší pochopení opětovně uvedeny viz **Příloha č. 3**.



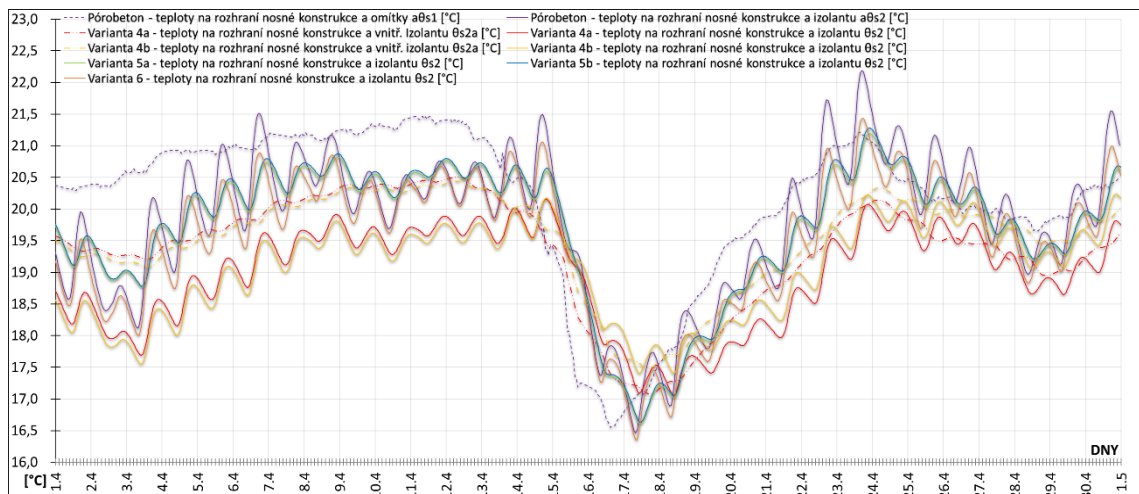
Graf 81 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc leden [32]



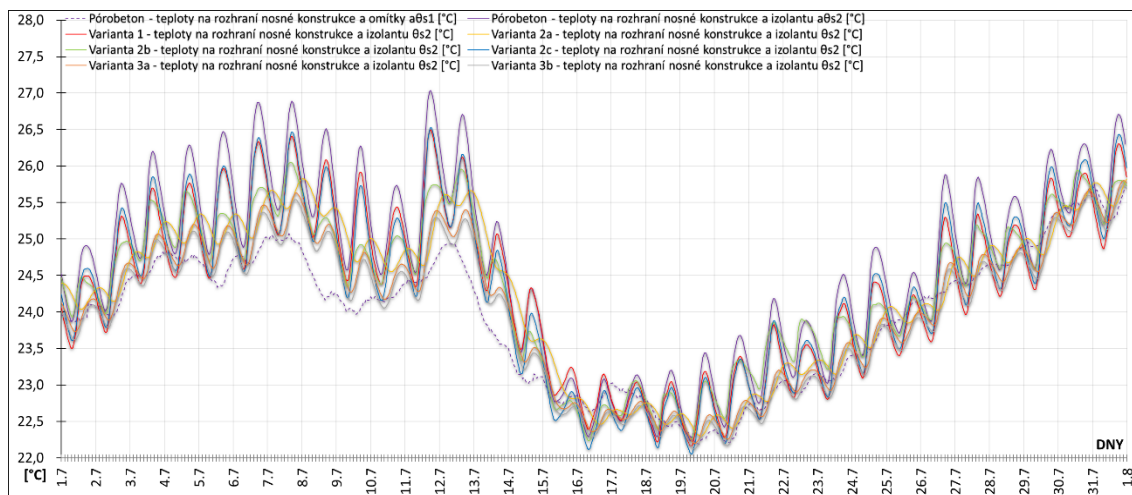
Graf 82 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc leden [32]



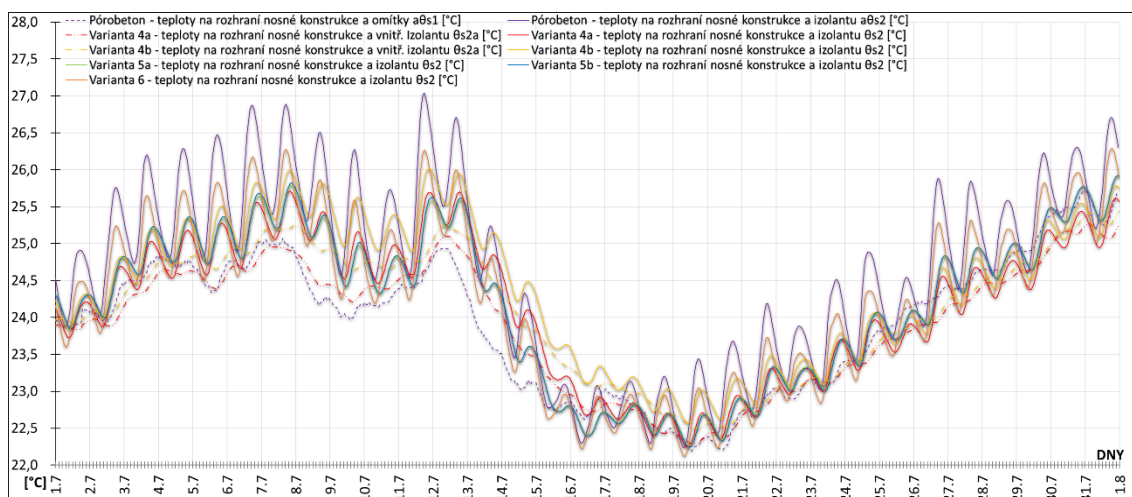
Graf 83 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc duben [32]



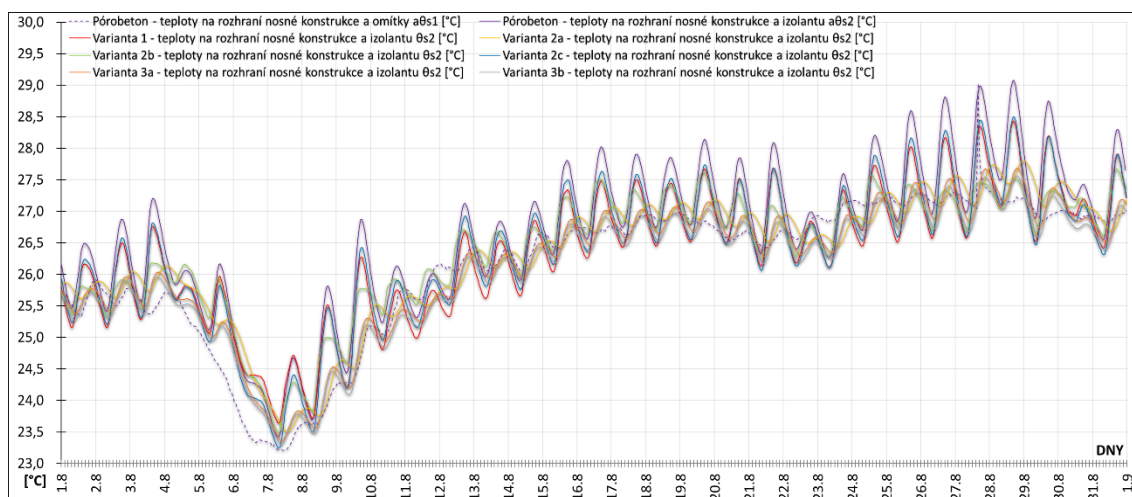
Graf 84 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc duben [32]



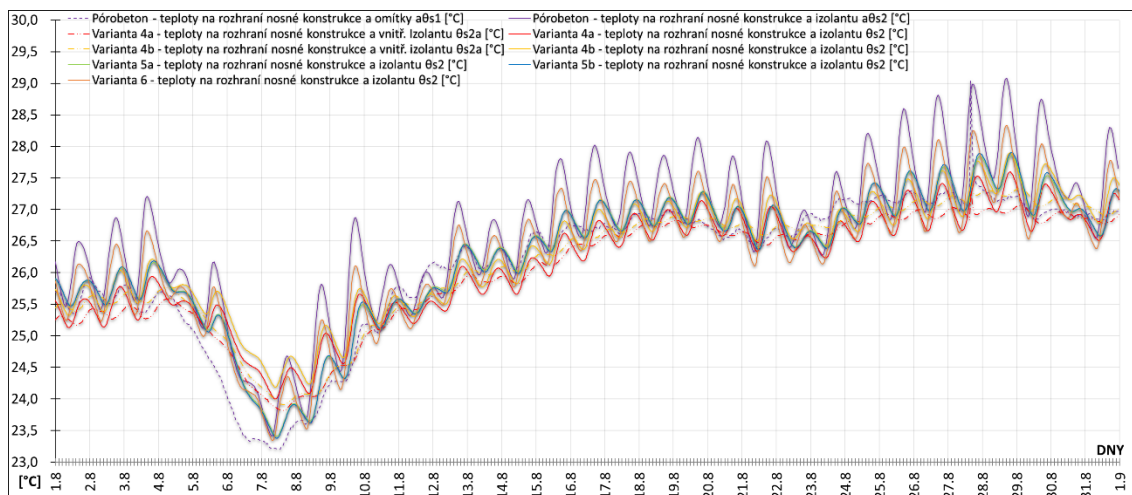
Graf 85 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc červenec [32]



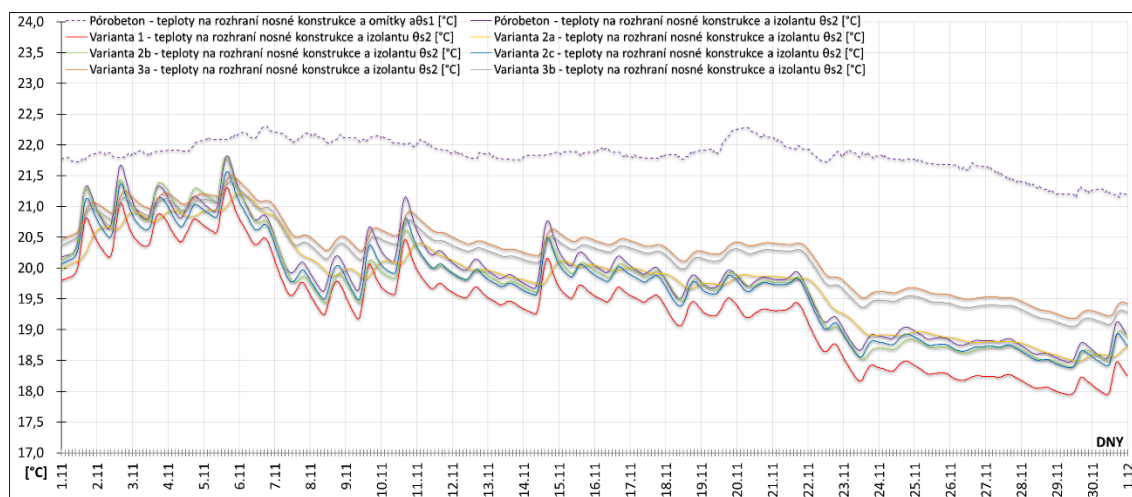
Graf 86 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc červenec [32]



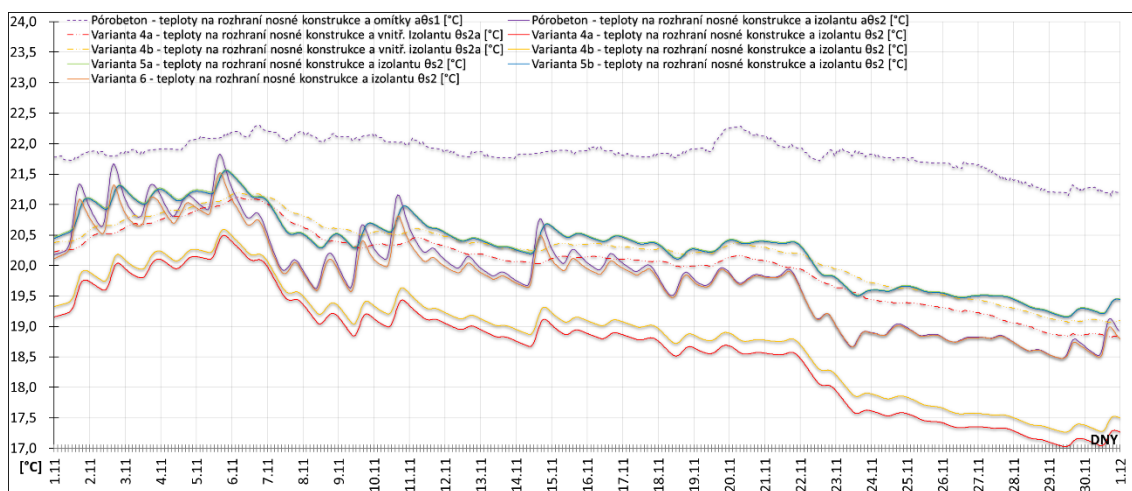
Graf 87 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc srpen [32]



Graf 88 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc srpen [32]



Graf 89 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc listopad [32]



Graf 90 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc listopad [32]

F.6.3 Průběh teplot stavebních úprav v celém sledovaném období

Následující tabulky reprezentují teploty jednotlivých stavebních úprav na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu θ_{s2} .

Jsou zachyceny průměrné teploty (**Průměr** [°C]), medián (**Med.** [°C]), maximální teploty (**Max** [°C]), minimální teploty (**Min** [°C]), směrodatné odchylky (**Sm. Odch.** [°C]) a průměrné odchylky (**Odch.** [°C]).

Měsíc	VAR. 1 – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 2a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	17,82	17,92	19,03	16,66	0,49	0,41	18,42	18,55	19,28	17,48	0,45	0,39
02	18,00	17,90	18,94	16,96	0,48	0,43	18,67	18,67	19,44	17,79	0,49	0,45
03	19,97	20,00	21,16	18,60	0,52	0,43	20,44	20,47	21,34	19,18	0,49	0,41
04	19,34	19,55	21,13	16,69	0,98	0,81	19,50	19,77	21,02	16,66	1,01	0,81
05	21,67	21,61	24,32	19,19	1,23	1,07	21,78	21,44	24,03	19,45	1,22	1,10
06	23,46	23,41	25,27	22,22	0,66	0,54	23,38	23,21	24,76	22,36	0,59	0,50
07	24,34	24,46	26,50	22,16	1,11	0,95	24,26	24,57	25,83	22,30	1,06	0,92
08	26,32	26,50	28,43	23,64	1,03	0,84	26,27	26,55	27,80	23,50	1,01	0,82
09	24,72	24,81	27,86	21,94	1,20	0,97	24,75	25,01	27,20	22,03	1,12	0,89
10	20,34	20,08	22,43	19,08	0,79	0,69	20,61	20,36	22,16	19,65	0,67	0,61
11	19,37	19,46	21,31	17,94	0,85	0,68	19,81	19,91	21,22	18,49	0,73	0,57
12	18,32	18,37	19,11	17,40	0,36	0,27	18,84	18,90	19,41	18,02	0,35	0,27

Tabulka 28 Varianta 1 + 2a – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]

Měsíc	VAR. 2b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 2c – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	18,42	18,53	19,53	17,27	0,52	0,44	18,35	18,44	19,48	17,22	0,49	0,40
02	18,67	18,64	19,57	17,63	0,49	0,43	18,59	18,55	19,60	17,55	0,50	0,45
03	20,41	20,50	21,42	19,17	0,49	0,42	20,39	20,44	21,55	19,10	0,50	0,42
04	19,31	19,64	20,81	16,33	1,02	0,83	19,46	19,72	21,53	16,18	1,10	0,89
05	21,74	21,47	24,34	19,22	1,26	1,13	21,78	21,73	24,55	19,02	1,29	1,13
06	23,59	23,45	25,24	22,39	0,67	0,57	23,45	23,35	25,37	22,08	0,72	0,58
07	24,35	24,60	26,05	22,24	1,04	0,90	24,33	24,48	26,53	22,06	1,17	0,99
08	26,37	26,66	27,67	23,49	0,95	0,77	26,35	26,54	28,50	23,24	1,10	0,87
09	24,78	25,06	27,36	21,94	1,19	0,96	24,72	24,83	27,87	21,79	1,21	0,97
10	20,64	20,52	22,33	19,41	0,74	0,64	20,53	20,34	22,35	19,38	0,70	0,60
11	19,76	19,81	21,80	18,40	0,84	0,65	19,72	19,78	21,57	18,38	0,78	0,62
12	18,86	18,93	19,72	17,87	0,42	0,32	18,77	18,84	19,55	17,86	0,38	0,29

Tabulka 29 Varianta 2b + 2c – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]

Měsíc	VAR. 3a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 3b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	19,12	19,23	19,88	18,23	0,41	0,34	18,98	19,08	19,74	18,05	0,41	0,35
02	19,44	19,39	20,28	18,61	0,48	0,44	19,29	19,23	20,13	18,44	0,48	0,44
03	20,98	20,97	21,82	19,91	0,45	0,39	20,85	20,87	21,69	19,77	0,45	0,39
04	19,60	19,90	21,02	16,55	1,04	0,82	19,49	19,78	20,88	16,45	1,04	0,82
05	21,75	21,53	23,95	19,37	1,20	1,08	21,64	21,42	23,82	19,28	1,19	1,08
06	23,26	23,16	24,71	22,15	0,60	0,50	23,17	23,07	24,62	22,02	0,60	0,50
07	24,07	24,30	25,80	22,20	1,01	0,88	23,98	24,19	25,74	22,12	1,00	0,87
08	26,14	26,47	27,69	23,36	1,03	0,84	26,05	26,38	27,57	23,30	1,01	0,83
09	24,71	24,90	27,15	22,13	1,04	0,82	24,60	24,78	27,04	22,02	1,03	0,81
10	20,89	20,71	22,22	20,02	0,55	0,50	20,80	20,63	22,10	19,91	0,56	0,50
11	20,29	20,39	21,51	19,18	0,59	0,47	20,17	20,28	21,41	19,05	0,60	0,48
12	19,46	19,52	19,98	18,71	0,32	0,25	19,32	19,39	19,89	18,56	0,33	0,26

Tabulka 30 Varianta 3a + 3b – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]

Měsíc	VAR. 4a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 4b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	16,82	16,96	17,76	15,86	0,44	0,38	17,01	17,15	17,99	16,03	0,45	0,38
02	17,08	17,03	17,87	16,09	0,50	0,45	17,15	17,07	17,89	16,34	0,41	0,38
03	19,14	19,20	20,15	17,72	0,50	0,40	19,24	19,31	20,28	17,72	0,53	0,43
04	18,95	19,15	20,16	17,06	0,79	0,68	19,05	19,30	20,24	17,40	0,76	0,66
05	21,24	21,08	23,43	19,07	1,21	1,08	21,48	21,31	23,57	19,53	1,10	0,98
06	23,30	23,22	24,61	22,26	0,52	0,43	23,46	23,39	24,80	22,34	0,54	0,44
07	24,16	24,42	25,71	22,24	0,97	0,84	24,40	24,56	26,01	22,56	0,96	0,84
08	26,12	26,35	27,59	24,00	0,87	0,75	26,31	26,54	27,90	24,19	0,89	0,77
09	24,64	24,92	27,28	22,03	1,19	0,99	24,81	25,05	27,49	22,21	1,18	0,97
10	19,97	19,49	22,18	18,62	1,01	0,91	20,11	19,61	22,35	18,84	0,97	0,87
11	18,68	18,83	20,50	17,03	0,94	0,76	18,87	19,02	20,59	17,27	0,90	0,73
12	17,37	17,43	17,94	16,52	0,32	0,25	17,60	17,65	18,17	16,78	0,32	0,24

Tabulka 31 Varianta 4a + 4b – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]

Měsíc	VAR. 5a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 5b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	19,13	19,24	19,92	18,24	0,41	0,35	19,12	19,24	19,93	18,23	0,41	0,35
02	19,44	19,41	20,29	18,59	0,49	0,45	19,43	19,40	20,29	18,58	0,49	0,45
03	21,01	20,99	21,88	19,91	0,45	0,39	21,01	20,99	21,89	19,90	0,45	0,40
04	19,67	19,99	21,19	16,61	1,05	0,83	19,71	20,03	21,28	16,63	1,05	0,83
05	21,86	21,62	24,14	19,42	1,22	1,09	21,88	21,64	24,18	19,44	1,22	1,09
06	23,37	23,25	24,85	22,29	0,60	0,50	23,37	23,25	24,85	22,27	0,60	0,50
07	24,19	24,43	25,91	22,27	1,03	0,90	24,19	24,44	25,92	22,24	1,04	0,91
08	26,25	26,56	27,85	23,41	1,04	0,85	26,25	26,54	27,91	23,38	1,05	0,85
09	24,82	25,03	27,30	22,18	1,07	0,84	24,81	25,01	27,31	22,15	1,07	0,85
10	20,92	20,73	22,35	20,03	0,57	0,51	20,90	20,70	22,33	20,01	0,57	0,51
11	20,31	20,40	21,57	19,17	0,61	0,48	20,30	20,38	21,56	19,15	0,61	0,48
12	19,46	19,52	19,97	18,71	0,32	0,25	19,45	19,51	19,96	18,70	0,32	0,25

Tabulka 32 Varianta 5a + 5b – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]

Měsíc	VAR. 6 – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Průměr [°C]	Med. [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Sm. Odch. [°C]	Odch. [°C]
01	18,42	18,50	19,52	17,30	0,48	0,40
02	18,65	18,60	19,65	17,63	0,50	0,45
03	20,46	20,51	21,58	19,18	0,50	0,42
04	19,53	19,81	21,43	16,35	1,07	0,87
05	21,80	21,70	24,45	19,16	1,26	1,11
06	23,43	23,34	25,24	22,09	0,67	0,55
07	24,28	24,43	26,29	22,12	1,12	0,96
08	26,30	26,52	28,33	23,35	1,06	0,85
09	24,72	24,83	27,75	21,90	1,17	0,93
10	20,58	20,39	22,30	19,46	0,68	0,59
11	19,78	19,85	21,52	18,47	0,75	0,60
12	18,84	18,91	19,59	17,95	0,37	0,28

Tabulka 33 Varianta 6 – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]

F.6.4 Roční hodnoty hustot tepelných toků stavebních úprav

Měsíc	VAR. 1 – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 2a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT							
	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]		
01	-1,77	-1,84	0,31	-2,56	0,188	30,813	-1,84	-1,84	-1,13	-2,38	0,000	31,000		
02	-1,96	-1,99	-0,84	-2,75	0,000	28,000	-2,03	-2,02	-1,29	-2,57	0,000	28,000		
03	-1,35	-1,46	1,51	-2,46	1,104	29,896	-1,41	-1,45	-0,56	-2,02	0,000	31,000		
04	-0,40	-0,57	3,10	-2,63	10,813	19,188	-0,45	-0,44	0,96	-1,93	6,615	23,385		
05	-0,08	-0,38	3,68	-2,01	12,313	18,688	-0,09	-0,15	1,40	-1,33	12,635	18,365		
06	0,26	-0,03	3,98	-1,33	16,910	15,302	0,25	0,17	1,90	-0,69	21,775	10,438		
07	0,38	0,11	4,43	-1,69	16,302	14,698	0,38	0,32	1,95	-0,65	23,177	7,823		
08	0,29	-0,08	4,41	-1,92	14,813	16,188	0,28	0,22	1,96	-0,65	20,667	10,333		
09	-0,19	-0,60	3,41	-2,03	10,750	19,250	-0,16	-0,20	1,12	-1,27	11,042	18,958		
10	-0,87	-1,00	1,87	-1,78	2,219	28,781	-0,87	-0,92	0,35	-1,44	0,865	30,135		
11	-1,34	-1,47	1,41	-2,55	1,708	28,292	-1,37	-1,40	-0,12	-2,31	0,000	30,000		
12	-1,56	-1,64	0,34	-2,51	0,219	30,781	-1,62	-1,67	-1,02	-2,16	0,000	31,000		
	Suma dnů					87,34	279,88	Suma dnů					97,78	270,44

Tabulka 34 Varianta 1+2a – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Měsíc	VAR. 2b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 2c – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT							
	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]		
01	-1,83	-1,85	-0,88	-2,45	0,000	31,000	-1,88	-1,94	0,11	-2,63	0,073	30,927		
02	-2,02	-2,02	-1,50	-2,65	0,000	28,000	-2,07	-2,09	-1,03	-2,82	0,000	28,000		
03	-1,40	-1,42	-0,60	-2,13	0,000	31,000	-1,44	-1,54	1,40	-2,52	0,698	30,302		
04	-0,41	-0,38	0,94	-2,02	7,583	22,417	-0,42	-0,59	3,10	-2,62	10,521	19,479		
05	-0,08	-0,13	1,24	-1,37	13,344	17,656	-0,08	-0,38	3,77	-1,97	12,260	18,740		
06	0,25	0,20	1,63	-0,65	23,119	9,094	0,29	0,00	4,17	-1,33	17,181	15,031		
07	0,37	0,39	1,80	-0,68	25,177	5,823	0,42	0,15	4,66	-1,65	16,563	14,438		
08	0,28	0,28	1,76	-0,59	23,958	7,042	0,31	-0,05	4,62	-1,94	15,052	15,948		
09	-0,17	-0,12	0,85	-1,35	12,594	17,406	-0,18	-0,57	3,52	-2,03	10,802	19,198		
10	-0,88	-0,95	0,30	-1,54	0,594	30,406	-0,91	-1,05	1,88	-1,82	2,135	28,865		
11	-1,37	-1,40	0,25	-2,39	0,313	29,688	-1,41	-1,55	1,34	-2,61	1,594	28,406		
12	-1,62	-1,69	-0,74	-2,29	0,000	31,000	-1,65	-1,74	0,16	-2,55	0,094	30,906		
	Suma dnů					106,68	260,53	Suma dnů					86,97	280,24

Tabulka 35 Varianta 2b+2c – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Měsíc	VAR. 3a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 3b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT							
	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]	Prům. H.T.T. [W·m ⁻²]	Med. H.T.T. [W·m ⁻²]	Max H.T.T. [W·m ⁻²]	Min H.T.T. [W·m ⁻²]	Počet dnů + [-]	Počet dnů - [-]		
01	-1,85	-1,91	0,10	-2,63	0,073	30,927	-1,87	-1,93	-0,14	-2,63	0,000	31,000		
02	-2,05	-2,07	-1,01	-2,83	0,000	28,000	-2,06	-2,08	-1,14	-2,83	0,000	28,000		
03	-1,42	-1,52	1,28	-2,52	0,625	30,375	-1,46	-1,54	0,98	-2,53	0,354	30,646		
04	-0,45	-0,61	2,82	-2,66	10,406	19,594	-0,52	-0,64	2,44	-2,66	9,896	20,104		
05	-0,14	-0,42	3,42	-2,01	11,906	19,094	-0,22	-0,46	3,02	-2,01	11,302	19,698		
06	0,22	-0,06	3,76	-1,34	16,775	15,438	0,14	-0,11	3,41	-1,34	16,275	15,938		
07	0,34	0,09	4,21	-1,66	16,146	14,854	0,25	0,05	3,81	-1,66	15,875	15,125		
08	0,24	-0,10	4,18	-1,91	14,677	16,323	0,16	-0,14	3,77	-1,91	14,323	16,677		
09	-0,24	-0,61	3,19	-2,03	10,490	19,510	-0,32	-0,64	2,84	-2,03	9,906	20,094		
10	-0,91	-1,04	1,70	-1,82	2,063	28,938	-0,93	-1,05	1,38	-1,82	1,802	29,198		
11	-1,40	-1,52	1,23	-2,61	1,531	28,469	-1,43	-1,53	1,00	-2,61	1,302	28,698		
12	-1,63	-1,71	0,15	-2,56	0,083	30,917	-1,65	-1,73	-0,07	-2,57	0,000	31,000		
	Suma dnů					84,78	282,44	Suma dnů					81,04	286,18

Tabulka 36 Varianta 3a+3b – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Měsíc	VAR. 4a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 4b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Prům. H.T.T.	Med. H.T.T.	Max H.T.T.	Min H.T.T.	Počet dnů +	Počet dnů -	Prům. H.T.T.	Med. H.T.T.	Max H.T.T.	Min H.T.T.	Počet dnů +	Počet dnů -
	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[-]	[-]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[-]	[-]
01	-1,59	-1,65	0,49	-2,38	0,292	30,708	-1,61	-1,67	0,46	-2,40	0,271	30,729
02	-1,78	-1,81	-0,65	-2,55	0,000	28,000	-1,79	-1,81	-0,65	-2,58	0,000	28,000
03	-1,19	-1,31	1,65	-2,31	1,510	29,490	-1,21	-1,32	1,63	-2,32	1,469	29,531
04	-0,34	-0,51	3,18	-2,56	11,156	18,844	-0,35	-0,53	3,16	-2,55	11,135	18,865
05	-0,03	-0,33	3,75	-1,96	12,646	18,354	-0,05	-0,36	3,70	-1,98	12,427	18,573
06	0,27	-0,02	3,96	-1,30	17,046	15,167	0,25	-0,05	3,95	-1,30	16,869	15,344
07	0,39	0,11	4,42	-1,70	16,365	14,635	0,36	0,09	4,39	-1,73	16,135	14,865
08	0,30	-0,08	4,38	-1,89	14,854	16,146	0,28	-0,10	4,37	-1,93	14,708	16,292
09	-0,18	-0,57	3,40	-2,00	10,854	19,146	-0,20	-0,59	3,39	-2,03	10,729	19,271
10	-0,79	-0,91	1,88	-1,67	2,521	28,479	-0,80	-0,93	1,86	-1,69	2,396	28,604
11	-1,21	-1,34	1,51	-2,39	1,927	28,073	-1,23	-1,37	1,50	-2,42	1,885	28,115
12	-1,39	-1,47	0,50	-2,36	0,354	30,646	-1,41	-1,50	0,48	-2,38	0,313	30,688
	Suma dnů						Suma dnů					
	89,53						88,34					
	277,69						278,88					

Tabulka 37 Varianta 4a + 4b – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Měsíc	VAR. 5a – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						VAR. 5b – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT					
	Prům. H.T.T.	Med. H.T.T.	Max H.T.T.	Min H.T.T.	Počet dnů +	Počet dnů -	Prům. H.T.T.	Med. H.T.T.	Max H.T.T.	Min H.T.T.	Počet dnů +	Počet dnů -
	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[-]	[-]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[-]	[-]
01	-1,84	-1,90	0,07	-2,62	0,063	30,938	-1,84	-1,90	0,13	-2,62	0,083	30,917
02	-2,04	-2,06	-1,04	-2,82	0,000	28,000	-2,04	-2,06	-1,03	-2,82	0,000	28,000
03	-1,40	-1,49	1,32	-2,48	0,719	30,281	-1,39	-1,49	1,42	-2,49	0,792	30,208
04	-0,39	-0,54	3,01	-2,62	10,833	19,167	-0,38	-0,55	3,19	-2,64	10,875	19,125
05	-0,05	-0,33	3,63	-1,95	12,594	18,406	-0,05	-0,36	3,83	-1,97	12,521	18,479
06	0,31	0,05	3,98	-1,29	17,650	14,563	0,31	0,03	4,16	-1,32	17,515	14,698
07	0,43	0,20	4,39	-1,61	17,010	13,990	0,44	0,18	4,61	-1,66	16,771	14,229
08	0,33	0,01	4,30	-1,88	15,563	15,438	0,34	-0,02	4,56	-1,92	15,365	15,635
09	-0,15	-0,50	3,28	-1,98	11,250	18,750	-0,15	-0,52	3,43	-2,00	11,146	18,854
10	-0,88	-1,01	1,81	-1,78	2,177	28,823	-0,88	-1,01	1,88	-1,79	2,198	28,802
11	-1,38	-1,50	1,24	-2,59	1,646	28,354	-1,38	-1,51	1,31	-2,59	1,667	28,333
12	-1,62	-1,70	0,12	-2,52	0,083	30,917	-1,62	-1,70	0,18	-2,52	0,104	30,896
	Suma dnů						Suma dnů					
	89,59						89,04					
	277,63						278,18					

Tabulka 38 Varianta 5a + 5b – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Měsíc	VAR. 6 – NOSNÁ KONSTRUKCE/IZOLANT						
	Prům. H.T.T.	Med. H.T.T.	Max H.T.T.	Min H.T.T.	Počet dnů +	Počet dnů -	
	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[Wm ²]	[-]	[-]	
01	-1,84	-1,91	0,13	-2,62	0,073	30,927	
02	-2,04	-2,07	-0,99	-2,82	0,000	28,000	
03	-1,40	-1,50	1,33	-2,50	0,740	30,260	
04	-0,41	-0,57	2,94	-2,63	10,594	19,406	
05	-0,09	-0,38	3,57	-1,97	12,250	18,750	
06	0,28	0,00	3,91	-1,31	17,192	15,021	
07	0,40	0,15	4,36	-1,62	16,604	14,396	
08	0,29	-0,05	4,32	-1,89	15,104	15,896	
09	-0,18	-0,55	3,29	-1,98	10,833	19,167	
10	-0,89	-1,02	1,81	-1,80	2,104	28,896	
11	-1,39	-1,52	1,28	-2,60	1,583	28,417	
12	-1,62	-1,70	0,18	-2,53	0,115	30,885	
	Suma dnů				87,19	280,02	

Tabulka 39 Varianta 6 – Tabulka hustot tepelných toků q_{kl} a jejich rozložení v čase [32]

Jsou zachyceny průměrné hustoty tepelných toků (**Prům. H.T.T.**), medián hustoty tepelných toků (**Med. H.T.T.**), maximální hustoty tepelných toků (**Max H.T.T.**), minimální hustoty tepelných toků (**Min H.T.T.**), počty dnů vykazujících zisk (**Počet dnů +**) a počet dnů vykazujících ztrátu (**Počet dnů -**).

F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby

Následující kapitolou jsou reprezentována data v jejich dílčí části, která je nezbytná pro pochopení mechanismu různých stavebních úprav. Analýza byla opětovně, jako u kapitoly *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace* nebo *F.3 Analýza změny materiálu nosné hmotné konstrukce*, provedena pomocí tabulkového editoru Excel v kombinaci s vizuálním sledováním jednotlivých kritických průběhů.

F.7.1 Selekce dat, omezení simulace a hodnocení stavebních úprav

F.7.1.1 Selekce dat a omezení simulace

Rozdílem simulace stavebních úprav oproti materiálovým změnám nosného hmotného pláště šikmé střechy jsou, paradoxně, experimentálně změřené okrajové podmínky interiéru teploty $_{a}\theta_{ai1}$ a relativní vlhkosti vzduchu $_{a}\varphi_{ai1}$, které jsou pro celou práci klíčové a které bylo možné využít i pro výměnu pórobetonu za jiné, hmotnější materiály. Avšak, co se týče stavební úpravy, je jejich použití spojeno se značnou nepřesností.

Nepřesnost se projevuje teplotou na vnitřním rozhraní nosné hmotné konstrukce θ_{s1} , kdy se po provedení simulací jednotlivé varianty 1 až 6, téměř bez rozdílu, navzájem překrývají právě z hlediska teplot tohoto klíčového rozhraní. Rozdíly a nuance, které je přesto při velkém měřítku možno pozorovat svědčí o tom, že stavební úpravy vliv na vnitřní prostředí logicky mají, avšak není možné je plně na rozhraní reprezentovat z důvodů okrajových podmínek, které zkrusují simulaci.

Abychom mohli výsledky simulací správně prezentovat, byl průběh teplot θ_{s1} , který bylo možné bez dalších průkazů použít u změny materiálů kapitoly *F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce*, z důvodů nepřesnosti vyjmut. Pro přesné zachycení teplot na tomto rozhraní při různých úpravách je nutné provedení experimentálních, optimálně laboratorních, full-scale měření, která budou vycházet z jednotlivých variant prezentovaných v kapitole *F.6.1 Kompilace modelů a typy úprav skladby* viz **Tabulka 26**.

Pro účely kapitoly a celého cíle se další popis zaměřuje na rozhraní mezi nosným hmotným pláštěm a tepelným izolantem popsáno teplotou θ_{s2} , kdy je nutné popsat každou úpravu slovně a výsledky v jednotlivých měsících mezi sebou vzájemně porovnávat s přihlédnutím na výchozí stav skladby viz **Tabulka 11**. Je pravděpodobné, že průběhy by se při dosažení korektních experimentálně zajištěných data z nich vytvořených okrajových podmínek mírně lišily a jednotlivé materiálové a tepelné technické parametry by byly fyzikálně umocněny.

F.7.1.2 Hodnocení a analýza stavebních úprav

Hodnocení jednotlivých stavebních úprav je problematické z několika důvodů. Prvním důvodem je rozlišnost jednotlivých úprav, kdy jsou zásadně měněny různé vrstvy viz **Tabulka 26**, které mnohdy zásadně mění chování skladby. Jedním z dalších důvodů je změna dílčích vlastností skladby, kdy se například dodaná objemová tepelná kapacita κ viz **Tabulka 27** stává zásadní ve čtení výsledků.

Je nutné ke všem variantám přistupovat současně jako k individuálnímu problému a také jako součástí většího funkčního mechanismu. Z tohoto důvodu je nutné řešit nejdříve velmi vypovídající průběhy teplot θ_{s2} , na které posléze navázat jednotlivé tabelární hodnoty předchozích kapitol. Je velmi pravděpodobné, že bez jednotlivých a na sebe kontinuálně navazujících výsledků jsou data samostatně zavádějící a nevypovídající o skutečném chování. K hodnocení bude využito již vysvětlených poznatků ze všech předchozích kapitol. Je velmi pravděpodobné, že pokud bychom se zaměřili pouze na krátké časové úseky bez dalších provázaných informací, je výsledky

možné prezentovat zcela jinak. Avšak, v rámci již načerpaných zkušeností a pochopení dílčích mechanismů hmotných plášťů šikmých střech je možné zanalyzovat rozsáhle stavební úpravy maximálně objektivně. Přesto je pravděpodobné, že dílčí informace či výchyly budou v rámci obrovského datového záznamu ztraceny a bylo by nutno zasvětit každé variantě samostatnou kapitolu. Pro účely předložené disertační práce jsou však výsledky shledány jako dostačující a analýza slouží zejména pro hlubší pochopení chování a také jako směr, kterým lze vylepšit případné skladby šikmých střech, které mají hmotnou nosnou konstrukci zakomponovanou.

F.7.2 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v zimním období

Jednotlivé varianty budou individuálně popsány tak, aby bylo možné pochopit jejich chování v závislosti na dané stavební úpravě viz **Tabulka 26**. Současně budou úpravy komparovány s výchozí skladbou experimentálního objektu viz **Tabulka 11** pro další pochopení.

F.7.2.1 Varianta 1 – změna tloušťky nosného pórobetonového pláště

Z průběhu viz **Graf 81** je možné pozorovat pokles teploty θ_{s2} na zkoumaném rozhraní. Při změně tloušťky materiálu d se jedná o zcela očekávaný fakt, který, jak bylo zjištěno v kapitole F.2 zabývající se změnou materiálu, vede k posunu průběhu teplot na nižší úroveň. To při interpretaci v zimním prostředí znamená, že součinitel tepelné vodivosti λ zabraňuje nadbytečnému prostupu tepla, což má za následek dosažení úspory energie a současně vyšší míru akumulace. Je velmi pravděpodobné, že stavební úprava povede na vyšší a stabilnější teploty vnitřního prostředí θ_{ai} , které budou při případném přerušení dodávky solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ a tepla déle zachyceny v materiálu díky jeho vyšší tloušťce.

F.7.2.2 Varianta 2a – pěnosklo

Použití jiného tepelného izolantu, v tomto případě vulkanického pěnoskla v několika vrstvách vzájemně prolitých horkou asfaltovou emulzí, nevede na výrazné změny průběhu teplot θ_{s2} v zimním období z hlediska pozice. Lze pozorovat viz **Graf 81** velmi ustálený průběh teplot, na kterém se na rozdíl od původního EPS s příměsí grafitu nevytváří ve sledovaném času téměř žádné výkyvy, nebo jsou, například k datu 27.07.2020 až 30.01.2021, velmi mírné. Dále stojí za povšimnutí také průběh teplot při použití pěnoskla v okamžicích poklesu teplot a jejich následného růstu. Lze pozorovat, že pokud dojde k poklesu teplot $_{chmi}\theta_{e1}$, pěnosklo drží dlouhodoběji vyšší teploty, a naopak při oteplení se déle zahřívá se fázovým posunem teplotních kmitů ψ . Je velmi pravděpodobné, že pěnosklo disponuje značnou akumulační schopností viz **Tabulka 27**. To vede ke stálejšímu průběhu teplot a výhodným navýšením akumulačních schopností skladby jako celku. Neopomenutelným mechanismem je ovlivnění difúzního toku, který se podílí na distribuci vlhkosti a tím ovlivňuje dále hustotu tepelného toku q_{kl} . Celkově vlastnosti mohou vést ke snížení ztrát v zimním a přechodném období, stejně jako zamezení přehřívání v letním období. Domněnka s letním obdobím je zkoumána v následujících kapitolách.

F.7.2.3 Varianta 2b – minerální vlna/vata

Oproti pěnosklu se výměna izolantu za minerální vlnu či vatu nejeví v zimním období jako vhodná varianta viz **Graf 81**. Teploty θ_{s2} na rozhraní izolantu a nosné konstrukce klesají, což v případě varianty 2b značí zhoršení. Lze si povšimnout, že se materiál značí menšími výkyvy teplot v čase, tedy amplitudami, což odráží jeho vyšší akumulační schopnost viz **Tabulka 27**. Ta však nevede k výraznému zlepšení nebo znatelnému fázovému posunu teplotního kmitu ψ . Minerální vlna/vata není pro vylepšení skladby v zimním období rozhodující.

F.7.2.4 Varianta 2c – polyisokyanurát

Výměna izolantu za PIR se nejeví v zimním období jako vhodná varianta viz **Graf 81** a lze si i oproti minerálnímu izolantu povšimnout jejího horšího průběhu, který se mnohdy vyznačuje nárůstem amplitudy teploty θ_{s2} . Zabudovaný materiál této varianty je subtilnější, což může přinášet jiné benefity. Pokud analyzujeme pouze průběh jeho teplot a akumulační schopnosti viz **Tabulka 27**, není PIR pro vylepšení skladby v zimním období rozhodující.

F.7.2.5 Varianta 3a – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 60 mm

Navýšení tloušťky d větrané vzduchové vrstvy ze skutečných 40 mm na 60 mm se jeví v zimních měsících velmi přívětivě vzhledem k průběhu teplot θ_{s2} , které se posouvají z hlediska průběhů do vyšších hodnot o cca 0,5-0,8 °C oproti polystyrenu a předčí tak i různé varianty izolantů. Je také možné si povšimnout viz **Graf 81** vylepšení průběhu z hlediska lokálních amplitud teplot, kdy dochází k daleko menším výkyvům. Vrstva díky své vyšší tloušťce d funguje i přes značné provětrávání, či výměnu vzduchu, jako izolační materiál. Zvýšení větrané vzduchové vrstvy na 60 mm vede k významnému vylepšení skladby, navzdory horším vlastnostem viz **Tabulka 27**, a je pro zimní období přívětivé, což vede snížení tepelných ztrát q_{kl} v zimním a přechodném období, stejně jako zamezení přehřívání v letním období. Domněnka s letním obdobím je zkoumána dále.

F.7.2.6 Varianta 3b – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 100 mm

Další navýšení tloušťky d větrané vzduchové vrstvy ze skutečných 40 mm na 100 mm se jeví v zimních měsících opět jako velmi přívětivě vzhledem k průběhu teplot θ_{s2} , které se posouvají z hlediska průběhů viz **Graf 81** do vyšších hodnot o cca 0,4-0,7 °C oproti polystyrenu a předčí znovu i různé varianty izolantů. Mechanismus a chování je identické a popsáno viz kapitola F.7.1.5 *Varianta 3a – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 60 mm*. Pokud vrstvy a změnu jejich tloušťky srovnáme proti sobě zjistíme, že rozměr 100 mm se jeví jako nevýhodný a dochází ke ztrátě části tepelné energie. Jev je pravděpodobně způsoben větší tloušťkou d , kterou musí tašky prozářit, aby své teplo předaly dál.

Současně je tloušťka d z hlediska proudění vzduchu velmi pravděpodobně daleko méně stálá a dochází podle rychlosti v k laminárnímu nebo turbulentnímu proudění v daleko větší míře, než u subtilnější varianty a může vznikat nepříznivé ochlazení konstrukce. Zvýšení větrané vzduchové vrstvy na 100 mm je opět velmi významné vylepšení, avšak oproti navýšení rozměru o 60 mm dochází k nevhodné ztrátě tepla v podobě mírně nižšího průběhu teplot. I když lze říct, že úprava je vhodná navzdory horším vlastnostem viz **Tabulka 27** pro zimní a přechodné období, může být daleko příhodnější pro zamezení přehřívání v letním období. Domněnka bude zkoumána. Lze vyslovit závěr, že za cenu vyšších hustot/ztrát q_{kl} v zimním a přechodném období, které jsou nižší než výchozí stav, dojde ke snížení nežádoucích hustot/zisků q_{kl} v letním období.

F.7.2.7 Varianta 4a – zateplení strany interiéru pomocí minerální vlny/vaty

Zateplení objektu ze strany interiéru je velmi odsuzovaná a nepoužívaná metoda vylepšení teplosměnných plášťů všeobecně, která si nachází své uplatnění zejména u rekonstrukcí, nebo při nemožnosti jinak dosáhnout vylepšení konstrukce. Zateplení s sebou nese řadu nevýhod, jako je posun kondenzační roviny, zmenšení vnitřního prostoru, anebo také technologické procesy, které mohou prodražit stavbu.

Jak bylo definováno, konstrukce hmotného pláště je výborný tepelný akumulátor, který do sebe dokáže absorbovat vyšší množství energie než lehké pláště. Energii rozdělujeme na solární $chmiRGLB_{10}$ a tepelnou z interiéru, kdy je jasné, že se tyto zisky či ztráty q_{kl} vzájemně ovlivňují. Pokud si uvědomíme fungování mechanismu jako celku, je vhodné zvážit zateplené

konstrukce z obou stran, stejně jako u jiných akumulátorů či zásobníků tepla, jak je možné vypořádat například v TZB. Za tímto účelem byly vytvořeny varianty 4a a 4b, které přistupují k předpokladu zateplení interiéru. Zateplení je vhodné pouze pro materiály s vysokou pórovitostí, například pórobetonu, který je optimální. Lze dodat, že pro materiály s nízkou pórovitostí n_x a vysokou zabudovanou vlhkostí, tedy například železobetonu, je stavební úprava nevhodná. Pro lepší pochopení je na rozdíl od jiných konstrukčních variant zobrazen průběh na obou rozhraních θ_{s2} a θ_{s2a} .

Z průběhu viz **Graf 82** je patrný pokles teplot na rozhraní nosné konstrukce a vnějšího izolantu θ_{s2} , který klesá v průběhu o cca 1,5-1,7 °C, tedy o velmi význačnou hodnotu. Pokud se podíváme na druhý průběh, tedy teplotu rozhraní nosné konstrukce a vnitřního izolantu θ_{s2a} , vidíme naopak navýšení průběhu o cca 0,4-0,6 °C. Lze pozorovat daleko lepší průběh z hlediska lokálních výkyvů teplot a velikosti amplitud. Zateplení zamezuje nadměrnému ochlazení vnitřní strany hmotné konstrukce střešního pláště, které je často ztrátové.

Z informací je možné vyvodit následující závěr, a sice že obalení hmotné nosné konstrukce z obou stran je z hlediska hustot tepelného toku q_{kl} a ztrát objektu velmi přínosné. Dosáhneme totiž menší ztráty na vnějším prostředí (viz pokles teplot θ_{s2}) a při prostupu tepla $chmi\theta_{e1}$, nebo solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ do konstrukce dochází k navýšení teploty konstrukce na vnitřní straně (viz nárůst teplot θ_{s2a}). Jednoznačně lze říct, že zateplení interiéru je v zimních a velmi pravděpodobně i v přechodových měsících přínosné. Je otázkou, jak se obdobná stavební úprava skladby bude chovat v letních měsících, kdy je ochlazení vnitřního povrchu hmotné konstrukce naopak žádané pro odvod tepla. Domněnka bude dále zkoumána. Důležité je si uvědomit, že tímto, byť přínosným opatřením, posuneme kondenzační rovinu směrem k interiéru a vzniká riziko vyšší a nežádané kondenzace. Je důležité dbát na otevřenost skladby z hlediska difúzního toku, což pórobeton a minerální vlna/vata použitá ve variantě 4a splňuje.

F.7.2.8 Varianta 4b – zateplení strany interiéru pomocí expandovaného polystyrenu.

Oproti variantě 4a se zateplení interiéru pomocí EPS jeví jako méně vhodné, jak je ostatně patrné viz **Graf 82**, kdy se teploty θ_{s2} a θ_{s2a} na obou rozhraních posouvají do méně příhodných pozic, které svědčí o vyšší hustotě tepelného toku q_{kl} . Za jev může součinitel tepelné vodivosti λ , který je u EPS vyšší. Je opět možné říct, že pokud zanedbáme rozdíl teplot o hodnotách cca 0,2-0,3 °C, je možné velmi efektivně využívat varianty 4b za stejným účelem, jako materiál varianty 4a. Znovu lze říct, že zateplení interiéru pomocí EPS je v zimních a velmi pravděpodobně i v přechodových měsících přínosné. Je otázkou, jak se obdobná stavební úprava skladby bude chovat v letních měsících, kdy je ochlazení vnitřního povrchu hmotné konstrukce naopak žádané pro odvod tepla. Domněnka bude dále zkoumána. Problém je výše řešená difúzní otevřenost celé skladby, která je v případě polystyrenu značně snížena.

F.7.2.9 Varianta 5a – umístění DHV na bednění z difúzně otevřených desek

Doplňková hydroizolační vrstva se, v závislosti na třídě těsnosti [134], standardně umísťuje na libovolné bednění nebo jiný tuhý podklad, který je tvořen různým materiálem, nejčastěji na bázi dřeva. Skladba střešního pláště experimentálního objektu EX_RD_2 tímto bedněním nedisponuje, a naopak je vytvořena pod DHV další slabě větraná vzduchová mezera či vrstva. V rámci simulace bylo přikročeno ke dvěma úpravám skladby v rámci varianty 5a i 5b. První úpravou je zrušení vzduchové vrstvy č. 4 viz **Tabulka 11** kapitoly E.4.2 *Kompilace simulačního modelu*. Současně s tímto zrušením je na stejné místo zhotoveno bednění z difúzně otevřených dřevovláknitých desek, které se vyznačují vysokou difúzní otevřeností.

Samotný průběh viz **Graf 82** vypovídá o téměř identickém průběhu varianty 5a i 5b. Je patrné dosažení nejvyšších teplot θ_{s2} na předmětném rozhraní nosného hmotného pláště z hlediska

všech variant. Lze konstatovat, že se jedná o velmi kvalitní variantu stavební úpravy, která s sebou přináší několik dalších výhod. První viditelnou výhodou je vytvoření velmi stabilního průběhu teplot, kdy materiál samotný za současného zrušení větrané vrstvy vede ke zpomalení ochlazování. Avšak také je problematické naopak příznivé zahřívání skladby, jak je patrné z fázového posunu teplotního kmitu ψ reprezentovaného průběhem teplot v grafu. Bednění zabraňuje nadbytečnému prochlazení vrstvy izolantu prouděním vzduchu, což je pro zimu výhodou. Současně vede použití bednění ke zvýšení vodotěsnosti střešního pláště.

Lze vyslovit závěr, že bednění společně s eliminací vzduchové vrstvy vede k výraznému vylepšení skladby vlivem zamezení nadbytečného ochlazování povrchu tepelného izolantu a tím velmi pravděpodobně ke zlepšení hustoty tepelného toku q_{kl} . Je patrné, že skladba bude také eliminovat případné pozitivní zisky $chmiRGLB_{10}$ a $chmi\theta_{e1}$, které velmi rychle mohly díky kontaktu VVV a horního povrchu tepelného izolantu dosahovat příznivých teplot. Bednění z difuzně otevřených desek se jeví z průběhů teplot zimního období jako vhodná stavební úprava, avšak ve spojení s letními a přechodnými měsíci je problematické objektivně vyslovit přínos.

F.7.2.10 Varianta 5b – umístění DHV na bednění z difuzně uzavřených desek

Varianta z hlediska svého chování a celého průběhu teplot θ_{s2} viz **Graf 82** naprosto a zcela odpovídá průběhu varianty 5a v zimním období. Je možné vyvodit také identické závěry s kapitolou F.7.2 *Analýza průběhu teplot stavebních úprav v zimním období*. Ačkoliv je patrné, že přínos zimního období je značný, je současně problematické vyřknout, zda je její celkový přínos pozitivní, či negativní. Varianta 5b není v zimním období více zkoumána.

F.7.2.11 Varianta 6 – parotěsnicí vrstva z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou

V rámci stavební úpravy je do skladby zabudována vrstva vysoce neprodyšného asfaltového pásu, který disponuje hliníkovou vložkou. Je vhodné podotknout, že vrstva i přes její běžné zabudování do skladeb byla záměrně vynechána z důvodů difuzního otevření celé skladby, což se ukázalo jako velmi příznivé.

Jak je patrné viz **Graf 82**, vrstva a zejména hliník, který reflektuje záření okolních vrstev a difúzně uzavírá skladbu, má na průběh celkem význačný vliv, pokud si uvědomíme, že samotná vrstva má pouze cca 2 mm. Samotný průběh teplot θ_{s2} je značně problematickým právě díky reflektování tepelných zisků $chmi\theta_{e1}$ a solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ a neopomenutelné razantní změny difuzního toku. Během celého měsíce ledna dochází až k téměř oscilaci kolem průběhu teplot θ_{s2} na rozhraní nosné konstrukce a izolantu skutečné experimentální skladby ${}_a\theta_{s2}$, kdy je možné pozorovat pravděpodobné zpětné odražení tepla do interiéru k datu například 15.01.2021 a 16.01.2021. Stejně tak je možné pozorovat naopak odražení tentokrát pozitivních zisků $chmiRGLB_{10}$ zpět do vnějšího prostředí, jak je patrné například kolem data 20.01.2021 až 22.01.2021. Spolu s jevem je stejnou mírou ovlivněn difúzní tok skrze vrstvu asfaltového pásu, který dále ovlivňuje výsledné chování. Na základě nejednoznačného a problematického průběhu, současně se zvážení difuzního uzavření jinak prodyšné skladby, lze říct, že stavební úprava není vhodnou variantou pro zimní období.

Ačkoliv je bezesporu ovlivnění odrazivostí materiálu a také razantní změnou difuzního proudění skrze konstrukci a tím ovlivnění hustoty tepelného toku q_{kl} , který má pravděpodobně tendenci směřovat nazpět do interiéru přínosné, solární zisky $chmiRGLB_{10}$ a teplo jimi dodávané je z hlediska delšího časového úseku daleko výhodnější a stavební úprava mu velmi pravděpodobně brání ve snadném prostupu.

Hodnocení stavebních úprav bude provedeno v rámci závěrečných kapitol. Z průběhů teplot stavebních úprav v zimním období je však možné shrnout následující dílčí závěry.

- Jako nejvhodnější stavební úpravou, která vede ke snížení energetické náročnosti je zateplení objektu z interiéru, optimálně poté pomocí minerální vlny viz varianta 4a.
- Jako další velmi vhodnou a současně levnější variantou, která současně nevede k prodražení či zmenšení vnitřních prostor, je varianta zvětšení větrané vzduchové vrstvy. V rámci zimního období se jako optimálnější jeví varianta 3a, tedy rozměr VVV o tloušťce 60 mm.
- Další velmi vhodnou variantou je výměna izolantu za hmotnější pěnosclo varianty 2a, které současně disponuje vyšší akumulací a vede tak k lepšímu a stabilnějšímu průběhu teplot $\theta_{s,2}$. Změna vede k vyššímu fázovému posunu teplotního kmitu ψ . Neopomenutelnou vlastností je také ovlivnění difúzního toku. Ostatní změny tepelného izolantu jsou nevýznamné.
- Problematickým je definování výhod či nevýhod variant 5a a 5b. Ačkoliv má bednění prokazatelně velmi pozitivní účinek na průběh teplot, který se vyznačuje zvýšením teplot $\theta_{s,2}$ na daném rozhraní nosné konstrukce a izolantu a také stabilnějším průběhem z hlediska menších amplitud/výkyvů, je pravděpodobné, že současně brání pozitivním solárním ziskům, o které jsme se připravili eliminací větrané vzduchové vrstvy a jejího kontaktu s tepelným izolantem. V doprovodu značného vlivu na fázový posun teplotního kmitu ψ lze tedy očekávat mírný solární deficit. Přesto je stavební úprava z hlediska průběhů teplot zimních měsíců jednoznačně pozitivní. Aby bylo možné stavení úpravy přesně všeobecně definovat, bude jejich přínos definován v rámci všech časových období.
- Logickým vylepšením skladby je varianta 1, zesílením nosné hmotné konstrukce. Varianta vede ke zvýšení akumulačních schopností, stejně jako zlepšení skladby jako celku. Současně je varianta 1 nejnákladnější.
- Varianta 6 je z hlediska zimních měsíců nepřínosná. Asfaltový pás, který disponuje hliníkovou vložkou, se vyznačuje schopností odrážet tepelný tok q_{kl} nazpět do interiéru a velmi výrazně ovlivnit difúzní tok související bezprostředně s přenosem tepla. Současně má mechanismus tendenci se proměnit v nevýhodu z hlediska solárních zisků, o které se můžeme připravit. Díky tomu je shledán jako nevhodný.
- Dle průběhu teplot nebyl stanoven fázový posun teplotního kmitu ψ . Vzhledem k tomu, že se jedná o simulaci, nejsou hodnoty předmětem zkoumání. Pro přesné výsledky by bylo vhodné provést experimentální, optimálně laboratorní, měření.

F.7.3 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období

F.7.3.1 Varianta 1 – změna tloušťky nosného pórobetonového pláště

Z průběhu viz **Graf 85** a **Graf 87** lze pozorovat pokles teploty $\theta_{s,2}$ na zkoumaném rozhraní oproti původnímu stavu, který je v případě letního období daleko více žádaným. Masivnější konstrukce a změna tloušťky d vede ke značné výhodě, kdy je nutné dodat do skladby více energie. To vede k lepší stabilizaci vnitřního prostředí. Současně je možné si všimnout vyšší akumulace, která se k datům 14.07.2020 až 17.07.2020 stává problematickou a teplota $\theta_{s,2}$ dosahuje srovnatelných až vyšších hodnot viz **Tabulka 27** než původní neupravená skladba viz **Tabulka 11**, alternativně viz **Graf 32** a **Graf 33**. Přesto je patrný nižší průběh než u výchozí skladby. Je velmi pravděpodobné, že stavební úprava povede z dlouhodobého hlediska na nižší a stabilnější teploty vnitřního prostředí θ_{ai} , avšak díky masivnosti bude i po přerušení dodávky solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ teplo zachycené v materiálu déle vyzařovat do interiéru. Varianta 1 je pro letní období na základě shrnutých informací vhodná.

F.7.3.2 Varianta 2a – pěnosklo

Pěnosklo viz **Graf 85** a **Graf 87** se opět projevuje velmi pozitivně v celém svém průběhu co se teplot θ_{s2} i stabilnějšího průběhu týče. Ačkoliv se vyskytují výkyvy obdobně jako u jiných materiálů, jsou tyto amplitudy/výkyvy teplot velmi malé a v porovnání s ostatními variantami nedosahují takových intenzit. Současně, což vyplývá z akumulčních vlastností viz **Tabulka 27**, lze pozorovat značnou změnu fázového posunu teplotního kmitu ψ , což může v některých okamžicích působit bohužel nepříznivě a celkově jev vede k vyzařování tepelné energie q_{kl} i během nočních hodin. Dále je patrné, že akumulční vlastnosti nedovolují rychlé vychladnutí konstrukce při přerušení dodávky solárních zisků $chmiRGLB_{10}$. Stále zůstává otázkou ovlivnění konstrukce z hlediska difúzního toku, avšak celkově je možné říct, že jakákoliv změna je, jak vyplývá z grafu, pravděpodobně pozitivní z hlediska svého přínosu. Kromě těchto nedostatků je však přínos pěnoskla, navzdory vyzařování tepla v nočních hodinách, jako stavební úpravy velmi pozitivní a vede k zamezení přehřívání ve sledovaném časovém úseku.

F.7.3.3 Varianta 2b – minerální vlna/vata

Oproti kapitole *F.7.2.3 Varianta 2b – minerální vlna/vata* a nevhodnému přínosu v zimním období dosahuje minerální vlna/vata v letních měsících pozitivního průběhu teplot θ_{s2} viz **Graf 85** a **Graf 87**, který po většinu zachycených letních měsíců s výjimkou několika červencových a srpnových dnů vykazuje nižší teploty než výchozí skladba viz **Graf 32** a **Graf 33**. Poklesu oproti zimním měsícům je dosaženo díky struktuře minerální vlny/vaty a také vyšší akumulční kapacitě materiálu viz **Tabulka 27**, což je vidět na intenzitě lokálních výkyvů teplot v krátké časové úseky. Současně je velmi pravděpodobné, že oproti zimním měsícům, kdy je izolant vyhříván tepelným tokem/ztrátou interiéru q_{kl} , dochází v létě k pozitivnímu ochlazení horní hrany izolantu vlivem intenzivní výměny vzduchu. Ta zajišťuje ochlazení a výsledný průběh teplot. Lze konstatovat, že minerální vlna/vata je po většinu letních dní vhodná a vede ke snížení teploty interiéru θ_{ai} .

F.7.3.4 Varianta 2c – polyisokyanurát

Výměnou izolantu za PIR materiál dosahujeme velmi obdobného průběhu, jako při změně tloušťky hmotné konstrukce viz *F.7.3.1 Varianta 1 – změna tloušťky nosného pórobetonového pláště* a viz **Graf 85** a **Graf 87**. I když se nejedná o výraznou změnu v průběhu, lze si povšimnout snížení teplot θ_{s2} v celém průběhu a současně také například k datům 13.07.2020 až 20.07.2020 a 05.08.2020 až 09.08.2020 k vykazání nejnižších teplot θ_{s2} ze všech materiálových variant. To však není přínosem samotného materiálu, jako jeho nižší tloušťkou d , a tedy nižší akumulční vlastností a kapacitou viz **Tabulka 27**. Pokud vezmeme v potaz průběh teplot a akumulční schopnosti, nikoliv subtilnost, je PIR pro vylepšení skladby v letním období nevhodné.

F.7.3.5 Varianta 3a – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 60 mm

Stavební úprava viz **Graf 85** a **Graf 87** se jeví jako velmi pozitivní záležitost, která zcela razantním způsobem vede ke značnému snížení teplot θ_{s2} v rámci celého letního období. Lze si znovu a téměř identicky k zimnímu období povšimnout velkého a pro letní období velmi významného poklesu teplot, který díky výměně vzduchu vede k eliminaci přehřívání VVV, stejně jako k velmi pravděpodobně lepšímu odvodu tepla z horního povrchu tepelného izolantu. Z grafů je patrné, že pokles teplot θ_{s2} dosahuje hodnot 0,5-1,6 °C. Lze pozorovat menší amplitudy a celkově je možné prohlásit variantu 3a za velmi přínosnou z hlediska potenciálu snížení teplot interiéru θ_{ai} a lze potvrdit domněnku ohledně zamezení přehřívání.

F.7.3.6 Varianta 3b – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 100 mm

Zvýšení větrané vzduchové mezery o dalších 40 mm na finálních 100 mm viz **Graf 85** a **Graf 87** se znovu jeví jako velmi pozitivní přístup, který snižuje průběh teplot θ_{s2} oproti výchozí skladbě cca 0,5-1,7 °C a dosahuje vyššího rozdílu, než kterým se vyznačuje varianta 3a. Tentokrát se vyměňují pomyslné pozice průběhů teplot a varianta 3b se stává pro letní měsíce výhodnější. Je zřejmé, že se uplatňuje stejný mechanismus přenosu tepla, tedy nutnost prohrátí vyšší mocnosti vzduchu a současná výměna většího množství vzduchu. To vede k lepšímu a zde příznivému ochlazení horního pláště tepelného izolantu. Celkově dosahujeme lepších výsledků, než varianta 3a a můžeme prohlásit, že domněnka o snížení nežádoucích zisků v letním období je potvrzena. Oproti zimnímu období je současně výhodnější varianta 3b oproti 3a.

F.7.3.7 Varianta 4a – zateplení strany interiéru pomocí minerální vlny/vaty

Zateplení interiéru viz **Graf 86** a **Graf 88** dosahuje příznivých účinků, kdy konkrétně varianta 4a zateplená minerální vlnou/vatou vykazuje jeden z nejnižších průběhů teplot θ_{s2} v celém sledovaném letním období o hodnotách cca 0,3-1,4 °C, který je dále doprovázen velmi příhodnými amplitudami/výkyvy teplot z hlediska jejich velikosti. Následně, pokud se zaměříme na druhý průběh, tedy rozhraní nosné konstrukce a vnitřního izolantu θ_{s2a} , je možné si povšimnout nového mechanismu působení, který je nejvíce patrný k datu mezi 12.07.2020 a 13.07.2020, alternativně je patrný od 04.08.2020 až do 09.08.2020.

Mechanismus vypovídá o době, kterou teplo q_{kl} prochází konstrukcí a vlivu tepelných $ch_{mi}\theta_{e1}$ i θ_{ai1} a solárních zisků $ch_{mi}RGLB_{10}$, kterými je konstrukce dotována z exteriéru a vnitřního prostředí. Dochází ke značnému fázovému posunu teplotních kmitů ψ mezi rozhraními, který může vést k eliminaci některých velmi blízkých teplotních výkyvů, což je nejvíce patrné k datu 12.07.2020, kdy, i když dochází na rozhraní vnějšího izolantu a nosné konstrukce k jasným změně teplot θ_{s2} , na druhém rozhraní θ_{s2a} se tyto výkyvy projevují pouze jedním výrazným výkyvem.

Z mechanismu lze vyvodit, že zateplení ze strany interiéru má velmi značný potenciál přispívat nejenom ke stabilizaci vnitřního prostředí, ale také chrání nosnou konstrukci před dalším tepelným ziskem, tentokrát ze strany interiéru. Pokud je však přísun tepla jak z exteriéru ($ch_{mi}\theta_{e1}$ a $ch_{mi}RGLB_{10}$), tak z interiéru (θ_{ai1}) trvalý, což je případ například většiny měsíce srpna, konkrétně od data 13.08.2020, můžeme vidět, že teplota izolantu na vnitřním rozhraní θ_{s2a} dosahuje vysokých hodnot, které jsou v nočních hodinách vyšší, než je rozhraní vnějšího tepelného izolantu θ_{s2} . Jev lze prohlásit na potenciálně nežádoucí účinek, který se nejvíce projeví například k datu 06.08.2020 až 08.08.2020, nebo poté 13.07.2020 až 18.07.2020.

Z průběhů můžeme vyvodit, že zateplení ze strany interiéru i přes vytvoření nového mechanismu není optimální a všeobecně vhodnou variantou pro letní období. Úprava vede v krátkém časovém úseku k velmi pravděpodobné eliminaci přehřívání i během stálého přísunu solárních $ch_{mi}RGLB_{10}$ a tepelných $ch_{mi}\theta_{e1}$ i θ_{ai1} zisků do konstrukce a izolant chrání nejen před nežádoucím stavem vnitřního prostředí, ale také hmotnou konstrukci šikmé střechy před prostředím samotným. Problémem se však z dlouhodobého hlediska stává přidání izolant, který vede při delším solárně a tepelně ziskovém období k nárůstu teplot θ_{s2} na rozhraní nosné konstrukce a tepelného izolantu a brání tak přirozenému a rychlému vychládání konstrukce konvekcí a radiací. Varianta 4a není v letním období vhodnou.

F.7.3.8 Varianta 4b – zateplení strany interiéru pomocí expandovaného polystyrenu.

Varianta 4b se zateplením interiéru pomocí EPS se znovu jeví jako nevhodná, jak je ostatně patrné viz **Graf 86** a **Graf 88**. Oproti variantě 4a je varianta 4b méně optimální a více nevhodná pro letní období. Lze pozorovat naprosto identické chování, které bylo vysvětleno v kapitole F.3.7 Analýza průběhu teplot materiálových variant v přechodovém období, avšak při

daleko vyšších teplotách na obou rozhraních θ_{s2} a θ_{s2a} . Umocňuje se výše popsaný mechanismus ohledně nedostatečného vychládání konstrukcí konvekcí a radiací. Lze pozorovat, že v některých měsících je varianta 4b natolik nepříznivá, že k datům od 15.07.2020 do 18.07.2020 a opětovně poté od 06.08.2020 do 08.08.2020 dosahuje průběh nejvyšších hodnot ze zkoumaných variant, což značí další nežádoucí zpomalení chladnutí konstrukce. Varianta 4b není v letním období vhodnou.

F.7.3.9 Varianta 5a – umístění DHV na bednění z difuzně otevřených desek

Varianty 5a a 5b jsou z hlediska průběhu teplot θ_{s2} naprosto identickými, jak je patrné viz **Graf 86** a **Graf 88**. Je patrné, že průběh teplot dosahuje všeobecně, ať již v červenci či srpnu a nehledě na denní či noční hodiny vhodného průběhu, který má potenciál být ve většině případů a zejména poté při ustáleném prostředí, např. kolem data 20.08.2020, jeden z nejnižších. I tentokrát je patrné, že desky bednění zpomalují, avšak negativně, ochlazování celé konstrukce.

Současně dochází ke změně fázového posunu teplotního kmitu ψ do nočních hodin, což není přínosným jevem. V této spojitosti je možné si povšimnout, že při kontinuálním zahřívání od 21.07.2020 do 31.07.2020 a 08.08.2020 do 29.08.2020 dochází k menšímu odvodu tepla z konstrukce vlivem přerušení kontaktu tepelného izolantu s VVV, tedy přirozenému pozitivnímu ochlazování, a průběh teplot je v tomto čase méně vhodným než například varianta 4b se zateplením interiéru. Varianta 5a je shledána díky výčtu těchto negativ jako méně vhodnou pro letní období, kdy bednění zamezuje ochlazování horní hrany izolantu konvekcí a radiací.

F.7.3.10 Varianta 5b – umístění DHV na bednění z difuzně uzavřených desek

Varianta 5b je z hlediska chování a celého průběhu teplot θ_{s2} viz **Graf 86** a **Graf 88** identická s variantou 5a v letním období, aniž by během celého průběhu docházelo k zásadní změně průběhu nebo vychýlení o z průběhu zachytitelnou hodnotu. Je možné vyvodit identické závěry.

F.7.3.11 Varianta 6 – parotěsnicí vrstva z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou

Použití parotěsnicí vrstvy a zejména asfaltového pásu s hliníkovou vložkou se ukazuje v letním období jako velmi pozitivní viz **Graf 86** a **Graf 88**. I když nedochází k zásadnímu snížení teploty θ_{s2} o více než cca 0,6-0,8 °C, a to pouze v některých dnech, je přínos stavební úpravy nezanedbatelný. Stejně jako v zimním období, kdy byla varianta 6 shledána problematičtější na posouzení z hlediska odrazení solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ do vnějšího prostředí a ovlivnění difúzního toku, je přínos v letním období při subtilnosti d pásu téměř bezkonkurenční. Je viditelné, že se stavební úprava neodlišuje kromě velikosti jednotlivých tepelných výkyvů nikterak svým tvarem, nebo fázovým posunem teplotního kmitu ψ , a naopak naprosto věrohodně, jen s jinou intenzitou, kopíruje průběh výchozí skladby viz **Graf 32** a **Graf 33**. Otázkou stále zůstává difúzní uzavření skladby, nicméně s ohledem na přínosy a subtilnost je zakomponování parotěsnicí vrstvy, která disponuje hliníkovou vložkou v létě přínosné. Na základě tohoto zjištění a poznatku je možné říct, že varianta 6 je velmi vhodnou pro letní období.

Definitivní hodnocení stavebních úprav bude provedeno v rámci závěrečných kapitol. Z průběhů teplot stavebních úprav v letním období lze shrnout následující dílčí závěry.

- Jako nejvhodnější stavební úpravou, která vede ke stabilnějšímu prostředí a eliminaci nežádoucích tepelných zisků je zvětšení větrané vzduchové vrstvy variant 3a a 3b. V rámci letního období se jako optimálnější jeví varianta 3b, tedy rozměr VVV o tloušťce 100 mm.

- Velmi vhodnou a subtilní stavební úpravou je varianta 6 zabudování parotěsnicí vrstvy z asfaltového pásu disponujícího hliníkovou vložkou. Úprava umožní skladbě odrážet nežádoucí solární zisky $_{chmi}RGLB_{10}$ zpět do vnějšího prostředí a pozitivně ovlivnit difúzní tok konstrukci, který velmi pravděpodobně dále ovlivňuje z hlediska teplot konstrukci jako celek. Společně s tloušťkou d , cenou a pozicí je velmi vhodné, aby skladba navržená pro letní období disponovala úpravou varianty 6.
- Další velmi vhodnou variantou je výměna izolantu za hmotnější a akumulacími vlastnostmi viz **Tabulka 27** disponující pěnasklo varianty 2a, které vede k lepšímu a stabilnějšímu průběhu teplot θ_{s2} , stejně jako vyššímu fázovému posunu teplotního kmitu ψ . Je pravděpodobné, že stejně jako varianta 6, pěnasklo pozitivně ovlivňuje difúzní tok skladbou v letních měsících.
- Vhodnou variantou je výměna izolantu za minerální vlnu/vatu varianty 2b. Ačkoliv se nejedná o tolik pozitivní materiál viz **Tabulka 27**, dochází ke značnému snížení teplot θ_{s2} , kdy prodyšnost izolantu ve spojení s pozicí u VVV vede k pozitivnímu ochlazení konstrukce jako celku viz **Graf 85** a **Graf 87**. Poslední varianta 2c s izolantem typu PIR dosahuje svých výhod, avšak vzhledem k průběhu teplot není stavební úprava významná a nelze ji tak doporučit.
- Opětovným logickým vylepšením je také varianta 1, tedy změna tloušťky hmotného pláště šikmé střechy, která vede ke zvýšení akumulace viz **Tabulka 27** a v této analogii ke snížení teplot interiéru θ_{ai1} .
- Znovu je problematické definování výhod a nevýhod variant 5a a 5b, kdy průběhy teplot v letních měsících nedosahují v některých případech optimálních hodnot. Vytvoření vrstev bednění na hranici izolantu a vnějšího prostředí vede ke snížení pozitivního ochlazování horní vrstvy tepelného izolantu konvekcí a radiací a dále ke zpomalení celkového odvodu tepla pryč z konstrukce během nočních hodin, což je pro správné fungování stavební úpravy v létě klíčové. Ačkoliv nastává výrazný pokles teplot θ_{s2} oproti výchozí variantě skladby s potenciálem dosáhnout nejnižších hodnot, v celkovém časovém období je působení variant 5a a 5b spíše průměrné. Varianty tak nejsou pro letní období vhodné.
- Jako nejméně vhodnou z vyjmenovaných variant se stávají stavební úpravy 4a a 4b, kdy dochází k zateplení interiéru. Přidaný izolant snižuje teplotu na obou rozhraních θ_{s2} a θ_{s2a} , což je pozitivní. Současně úprava brání rychlému vychládání konstrukce v nočních hodinách. Dále, pokud dlouhodobě dochází k solárním $_{chmi}RGLB_{10}$ a tepelným ziskům $_{chmi}\theta_{e1}$ i θ_{ai1} , dochází k uzamčení tepla z obou stran. Dohromady s fázovým posunem teplotního kmitu ψ tak skladba dodává teplo i během nočních hodin a má teoreticky potenciál, pokud bychom například vnitřní prostředí jinak nestabilizovali, dosáhnout stejných nebo dokonce vyšších teplot, než je výchozí stav skladby. Varianty tak nejsou pro letní období vhodné.
- Dle průběhu teplot nebyl stanoven fázový posun teplotního kmitu ψ . Vzhledem k tomu, že se jedná o simulaci, nejsou hodnoty předmětem zkoumání. Pro přesné výsledky by bylo vhodné provést experimentální, optimálně laboratorní, měření.

F.7.4 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v přechodovém období

F.7.4.1 Varianta 1 – změna tloušťky nosného pórobetonového pláště

Chování teplot θ_{s2} v měsíci dubnu z průběhu viz **Graf 83** je stále velmi charakteristické a promítají se zde oba typy chování, tedy zimní i letní období. Díky své mocnosti d a vyšším akumulacím vlastnostem viz **Tabulka 27** se projevuje značný problém s teplotní flexibilitou konstrukce při solárních ziscích $chmiRGLB_{10}$, které i když jsou dostatečné, nevedou k rychlému zahřátí konstrukce, což je vidět na fázovém posunu teplotního kmitu ψ a současně nevedou ani k vysokému průběhu teplot θ_{s2} , jak lze vidět u jiných stavebních úprav. Paradoxně se průběh stává jedním z nejnižších během nočních hodin, což vypovídá o výhodě mocnosti d , kumulaci teploty a jejím nenadměrným nepropouštěním, ztrátou. Je pozorovatelné, že teplota během denních hodin dosahuje relativně vysokých hodnot, což je vhodná vlastnost a vypovídá to o schopnosti naakumulovat solární zisky. Lze vypořádat, že při poklesu vnějších teplot $chmi\theta_{e1}$, například kolem data 15.04.2020 až 18.04.2020 se objemová hmotnost konstrukce ρ , objemová tepelná kapacita κ a další vlastnosti viz **Tabulka 27** projevuje velmi pozitivně a dlouhodobě udržuje průběh teplot ve velmi příznivých číslech. V měsíci dubnu je varianta 1 vhodná.

V měsíci listopadu viz **Graf 89** se dále uplatňují stejné mechanismy a chování konstrukce, které je popsáno již k měsíci dubnu. Akumulační schopnosti viz **Tabulka 27** se zde neprojevují takovým způsobem, o čemž vypovídají bohužel i nedostatečné solární zisky $chmiRGLB_{10}$, které postupem času klesají. Nízký průběh teplot θ_{s2} v analogii varianty 1 vypovídá o vhodnosti a nižším úniku tepla vlivem větší tloušťky d . V měsíci listopadu je varianta vhodná. Lze vyvodit závěr, že použití stavební úpravy je všeobecně v přechodových měsících vhodné.

F.7.4.2 Varianta 2a – pěnosklo

Pěnosklo se v průběhu měsíce dubna viz **Graf 83** projevuje jako velmi vhodný materiál, který dlouhodobě udržuje optimální hladinu teplot θ_{s2} bez vyšších výkyvů nebo značných amplitud/výkyvů teplot. Znovu se projevuje akumulace viz **Tabulka 27**, ovlivnění difúzního toku a značný fázový posun teplotního kmitu ψ , který je velmi příznivý a vede při delším vystavení solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ např. od 04.04.2020 do 10.04.2020 ke kontinuálnímu a příznivému vzrůstu teplot. Následně při přerušení energetické dodávky do skladby od data 15.04.2020 do 17.04.2020 vidíme, že se projevuje navýšená akumulace a lze stále vidět vysoký průběh teplot θ_{s2} . Po datu od 17.04.2020 do 24.04.2020 lze pozorovat vyšší akumulaci, rozlišný difúzní tok a fázový posun teplotního kmitu ψ , které společně vedou k pomalejšímu růstu teplot, avšak dlouhodobě výhodnějším teplotám. V měsíci dubnu je varianta vhodná.

Měsíc listopad viz **Graf 89** je pro variantu 2a velmi příznivý a dokazuje příznivé působení vyšší akumulace a ovlivnění difúzního toku, které vedou k relativně stálému a všeobecně vysokému průběhu teplot θ_{s2} , který se nevyznačuje výraznými lokálními výkyvy/amplitudami a celkově dosahuje velmi příznivého chování. Lze pozorovat, tentokrát v daleko vyšším měřítku, výhody akumulace i jiného difúzního toku, které pomáhají konstrukci překonat postupné poklesy teplot $chmi\theta_{e1}$ s daleko vhodnějšími výsledky. V měsíci listopadu je varianta vhodná a lze vyvodit závěr, že varianta 2a je v přechodových měsících všeobecně výhodná.

F.7.4.3 Varianta 2b – minerální vlna/vata

Průběh teplot θ_{s2} v měsíci dubnu viz **Graf 83** není pro variantu 2b opět příznivý obdobně jako v zimních měsících. Dochází velmi pravděpodobně k rychlejšímu ochlazení horního povrchu izolantu při poklesu teplot $chmi\theta_{e1}$ vlivem výměny vzduchu ve VVV, což má za následek velmi nízký průběh teplot na rozhraní v denních i nočních hodinách. Současně se zde bohužel nikterak

neprojevuje ani vyšší akumulární schopnost materiálu viz **Tabulka 27**, nebo jiné vhodné projevy průběhu teplot. V měsíci dubnu je varianta nevhodná.

Nevhodnost stavební úpravy se projevuje viz **Graf 89** také v měsíci listopadu. I když je z počátku měsíce od 01.11.2020 do 06.11.2020 možné pozorovat lepší a velmi vhodný průběh teplot θ_{s2} s vysokým potenciálem, což vypovídá o vhodných solárních ziscích $_{chmi}RGLB_{10}$ a vyšších teplotách exteriéru $_{chmi}\theta_{e1}$, lze po tomto; datu pozorovat rychlý pokles teplot, který je v porovnání s jinými úpravami tepelného izolantu viz **Tabulka 26** značný. Opět se projevuje nevhodnost tohoto typu izolantu. V měsíci listopadu je varianta nevhodná, z čehož lze usoudit, s přihlédnutím k závěru předchozího odstavce, že se stavební úprava nejeví ve zkoumaném období jako vhodná.

F.7.4.4 Varianta 2c – polyisokyanurát

Celkový průběh PIR materiálu viz **Graf 83** je v přechodovém měsíci dubnu přínosným. Lze pozorovat kladné a vysoké denní teploty θ_{s2} , které například od 04.04.2020 do 15.04.2020 přesahují ostatní varianty. Pokud se však zaměříme naopak na noční teploty vidíme značnou dualitu výsledků. Ty nás opět přesvědčují o nevhodnosti materiálu, kdy velmi pravděpodobně opět díky menší tloušťce materiálu d zachycujeme velmi nízké teploty, které například k 17.04.2020 dosahují nejmenších teplot ze všech variant. Pokud se však podíváme na data viz **Graf 83** vidíme rychlost, se kterou je teplo vstřebáváno nazpět. Subtilnost izolantu v případě solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ od 04.04.2020 do 15.04.2020 a od 18.04.2020 do 24.04.2020 hraje v náš prospěch, avšak při přerušení dodávky energie má konstrukce tendenci rychle vychlázet. Lze jí však v rámci měsíce dubna díky rychlosti vstřebávání tepla prohlásit za relativně vhodnou.

Teploty měsíce listopadu viz **Graf 89** svým chováním odpovídají předešlému materiálu varianty 2b, avšak bez výhod při vyšších solárních ziscích $_{chmi}RGLB_{10}$. Lze si povšimnout, například k datu od 08.11.2020 do 11.11.2020 vyššího průběhu teplot vyvozeného charakterem materiálu viz **Tabulka 27**. Po tomto datu je patrný náhlý pád teplot, který se v některých případech, opět velmi pravděpodobně díky své subtilnosti, dostává pod průběhy varianty 2b. Varianta 2c není v měsíci listopadu vhodnou. Z obou měsíců je neskutné určit výhodnost či nevhodnost varianty, jelikož hraje velkou úlohu v použitelnosti množství solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$, bez kterých díky subtilnosti d dochází ke značně problematickému chování. Jelikož není možné na zisky spoléhat, je varianta pro celé zkoumané období shledána jako nevhodná.

F.7.4.5 Varianta 3a – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 60 mm

Teploty dubna θ_{s2} viz **Graf 83** se znovu, stejně jako ve všech pro zatím zkoumaných časových obdobích, jeví ve spojitosti s variantou 3a jako příznivé a svou intenzitou hodnot a průběhů pozitivně. Lze si povšimnout nižších teplotních výkyvů, které vedou k daleko ustálenějšímu průběhu teplot po většinu času. Relativním problémem se stává náhlý pád teplot patrný k datu 15.04.2020 až 17.07.2020, který vede k nepříznivému průběhu. Současně se projevuje fázový posun teplotního kmitu ψ , který posouvá vyšší průběhy teplot až do nočních hodin. Je patrné delší zahřívání skladby do příhodných teplot viz datum od 18.04.2020 do 23.04.2020 a opětovně poté po poklesu teplot datum od 29.04.2020 do 01.05.2020. Přes nedostatky je možné shledat variantu v měsíci dubnu jako vhodnou.

Opakem problematického měsíce dubna je pro variantu 3a měsíc listopad viz **Graf 89**, kdy se jasně a vhodně projevuje výhodnost zvýšení VVV. Lze pozorovat nejvyšší teploty θ_{s2} a stále jedny z nejmenších teplotních výkyvů. Jelikož se varianta chová z hlediska teplot velmi obdobně, jako v měsíci dubnu, je možné prohlásit, že i pro listopad se stavební úprava jeví jako velmi vhodná. Z obou měsíců lze vyvodit závěr vhodnosti zvýšení VVV na tloušťku d 60 mm v přechodových měsících.

F.7.4.6 Varianta 3b – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 100 mm

Další zvýšení větrané vzduchové vrstvy se opět projevuje v obou měsících viz **Graf 83** a **Graf 89** jako vhodné řešení, které však nevede k dalšímu zlepšení nebo znatelnějšímu vylepšení skladby oproti variantě 3a. Oproti svému subtilnějšímu protějšku dochází k mírnému poklesu teplot θ_{s2} , což značí v analogii změny tloušťky d u VVV méně příznivé chování. Jelikož jsou výsledky naprosto totožné, pouze posunuty o cca 0,2-0,3 °C k nižším teplotám, je možné bez dalšího zkoumání a analýzy výsledků prohlásit, že zvýšení větrané vzduchové vrstvy na tloušťku 100 mm v přechodových měsících je vhodné.

F.7.4.7 Varianta 4a – zateplení strany interiéru pomocí minerální vlny/vaty

Zateplení interiéru se chová v měsíci dubnu viz **Graf 84** velmi obdobně, jako tomu bylo při zkoumání zimního období a je možné pozorovat příznivé posuny na obou rozhraních z hlediska teplot θ_{s2} a θ_{s2a} do kladných hodnot. Na rozhraní vnějšího tepelného izolantu a nosné konstrukce θ_{s2} je možné si povšimnout nižších výkyvů teplot značících se poklesem amplitud lokálních průběhů. Na druhém rozhraní θ_{s2a} si lze všimnout stálého a vyššího průběhu, tedy velmi žádaného výsledku s téměř nezatelnými lokálními výkyvy. Výhodnost zateplení interiéru se dále ukazuje jako vhodná záležitost při výpadku vytápění, jak je patrné k 15.04.2020 až do 17.04.2020, kdy teploty na jednotlivých rozhraních vyměňují své pozice a nastává tak dodávání tepla z hmotného pláště šikmé střechy, který byl do té doby z interiéru tepelně dotován pomocí energie z teploty ${}_a\theta_{ai1}$. Při obnovení dodávky tepla se pozice opětovně mění. Zajímavá je výměna pozic varianty 4a a 4b po výpadku vytápění, kdy se do té doby výhodnější varianta 4a stává ve svém průběhu o něco horší. Jev je pravděpodobně způsoben faktem náhlé ztráty naakumulované energie a následného opětovného spuštění vytápění, kdy se naopak pozitivně projeví varianta 4b díky své nižší objemové tepelné kapacitě κ viz **Tabulka 27**. Z analýzy výsledků je možné vyvodit závěr vhodnosti varianty 4a v měsíci dubnu.

Měsíc listopad následně pokračuje ve stejném chování. Z **Graf 90** je patrný razantní pokles teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu při hraně vnějšího prostředí θ_{s2} , který se odráží také v poklesu teploty na rozhraní vnitřního izolantu θ_{s2a} . Lze si povšimnout, že teplota na druhém rozhraní θ_{s2a} zůstává ve vhodných hodnotách a opět je názorné si všimnout trendu klesajících lokálních výkyvů. Průběh teplot varianty 4a zůstává nižší, než u varianty 4b vlivem vyšší měrné tepelné kapacity c a s ní související objemové tepelné kapacity κ a plošné tepelné kapacity c_A viz **Tabulka 27**. Je možné shrnout variantu 4a jako vhodnou v měsíci listopadu. Celkově lze variantu prohlásit jako velmi vhodnou pro přechodové měsíce.

F.7.4.8 Varianta 4b – zateplení strany interiéru pomocí expandovaného polystyrenu.

Varianta se chová v období měsíce dubna viz **Graf 84** obdobně, jako předchozí varianta. Lze si povšimnout téměř identického průběhu teplot θ_{s2} a θ_{s2a} s drobnou nuancí v momentě spuštění vytápění, kdy se nižší objemová tepelná kapacita κ projevuje paradoxně jako pozitivní. Díky deficitu viz **Tabulka 27** dochází k rychlejšímu prostupu tepla skrze tepelný izolant a následného ukládání tepla do hmotné konstrukce střešního pláště, což je v měsíci dubnu výhodné. Varianta 4b je ve sledovaném časovém úseku velmi výhodná.

Výhody varianty přetrvávají také během měsíce listopadu viz **Graf 90**, kdy funguje stále stejný mechanismus, včetně jednotlivých pozic teplotních průběhů θ_{s2} a θ_{s2a} . Bez další analýzy je na základě předchozí kapitoly *F.7.4 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v přechodovém období* možné říct, že varianta 4b je v měsíci listopadu velmi výhodná. Celkově je stavební úprava 4b výhodná pro přechodové měsíce a v případě stálého vytápění je dokonce výhodnější než varianta 4a díky nižší objemové tepelné kapacitě κ , která zaručuje rychlejší akumulování solárních zisků

$chmiRGLB_{10}$ a tepelných zisků $a\theta_{ai1}$ z interiéru do hmotného pláště střešní konstrukce. Pokud však nastane výpadek vytápění interiéru, je varianta 4a vhodnější.

F.7.4.9 Varianta 5a – umístění DHV na bednění z difuzně otevřených desek

Identické chování varianty 5a a 5b je možné pozorovat i v měsíci dubnu viz **Graf 84**. Jak můžeme vidět, průběhy teplot θ_{s2} jsou nejen stejné, ale také se projevuje totožné chování v podobě vyšších a stabilnějších průběhů, stejně jako změny fázového posunu teplotního kmitu ψ , který je posunut do nočních hodin a lze pozorovat vhodný nárůst teplot. Znovu se projevuje ochrana tepelného izolantu proti ochlazování konvekcí a radiací horního povrchu, která v přechodovém období hraje důležitou roli. Je velmi pravděpodobné, že se stejný princip ochrany horního povrchu projevuje také negativně a brání rychlejšímu prostupu tepla skrze tepelný izolant, což je pozorovatelné k období od 18.04.2020 do cca 20.04.2020. Přes nedostatek se varianta 5a projevuje jako vhodná pro měsíc duben.

Daleko více se ochrana horního povrchu tepelného izolantu pomocí bednění proti ochlazování konvekcí a radiací projevuje v měsíci listopadu viz **Graf 90**, kdy vede k velmi optimálnímu zachování teploty θ_{s2} navzdory výrazným poklesům ve vnějším prostředí $chmi\theta_{e1}$. Lze si povšimnout také daleko vyšší stálosti průběhu, než je tomu u jiných variant. Je znovu velmi pravděpodobné, že se díky stejnému ochrannému principu horního povrchu tepelného izolantu připravujeme o pozitivní tepelné zisky $chmiRGLB_{10}$. Ty však s velmi vysokou pravděpodobností nepřekračují tepelné ztráty q_{k1} , kterým se pomocí použití bednění vyvarujeme. Stavební úprava je vhodná i pro měsíc listopad a lze ji prohlásit za velmi přínosnou v přechodových měsících.

F.7.4.10 Varianta 5b – umístění DHV na bednění z difuzně uzavřených desek

Jelikož se v obou sledovaných časových úsecích viz **Graf 84** a **Graf 90** chová varianta 5b naprosto stejně jako předcházející stavební úprava bez jakékoliv vyšší změny ať již v teplotě θ_{s2} , amplitudě/výkyvu teplot, nebo zásadním posunu například ve fázovém posunu teplotního kmitu ψ , vyvodit stejné závěry a prohlásit stavební úpravu za vhodnou pro přechodové prostředí.

Úprava 5b je z hlediska chování a celého průběhu teplot viz **Graf 84** a **Graf 90** identická s variantou 5a, aniž by během celého průběhu docházelo k zásadní změně tvaru nebo vychýlení o z grafu zachytitelnou hodnotu. Je možné vyvodit identické závěry.

F.7.4.11 Varianta 6 – parotěsnicí vrstva z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou

Zakomponování stavební úpravy 6 do skladby se stává z hlediska použití v přechodových obdobích relativně problematické, jak je možné pozorovat z průběhu měsíce dubna viz **Graf 84**, kdy jsou výkyvy teplot θ_{s2} v denních hodinách velmi vysoké a relativně vhodné, avšak v nočních hodinách naopak velmi nízké a nevhodné. Změny v denních i nočních hodinách není možné považovat jako přínosné. Pokud se zaměříme na intenzity výkyvů teplot zjistíme, že hliníková vrstva brání vnikání solárních zisků $chmiRGLB_{10}$ do konstrukce v denních hodinách, čímž snižuje možnost potenciální úspory tepla a zhoršuje průběh tak v nočních hodinách. Současně s tímto negativním jevem je pravděpodobné, že dochází k odrazu i tepla z interiéru nazpět do konstrukce. Mechanismus fungování dále ovlivňuje naprosto rozlišné chování difúzního toku, jak bylo popsáno v predešlých časových obdobích. Celkově se varianta jeví pro měsíc duben jako méně vhodná až nevhodná.

Nevhodnost stavební úpravy 6 se přenáší také do měsíce listopadu viz **Graf 90**, kdy je dlouhodobě průběh teplot téměř identický s výchozím stavem konstrukce. Na základě stejného mechanismu, kdy hliníková vrstva odráží solární zisky zpět do exteriéru a velmi pravděpodobně také negativně ovlivňuje difúzní tok, je možné vyhodnotit stavební úpravu 6 jako nepřínosnou pro měsíc listopad. Celkově je varianta 6 shledána jako nevhodná pro přechodové měsíce.

Definitivní hodnocení stavebních úprav bude provedeno v rámci závěrečných kapitol. Z průběhů teplot stavebních úprav v přechodových obdobích je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Znovu se jako velmi výhodné ukazují varianty 4a a 4b, které díky výkyvům teplot θ_{s2} a θ_{s2a} optimálně chrání jak vnitřní prostředí, tak i hmotnou konstrukci šikmé střechy před nadměrným vychládáním. I když je pravděpodobné, že při solárních ziscích $chmiRGLB_{10}$ nám déle trvá jejich využití ve smyslu absorpce do vnitřního prostředí, výhody velmi převažují.
- Další nesporně výhodnou stavební úpravou jsou varianty 5a a 5b, které vedou díky svému kladnému zamezení proudění a tím ochlazení horní hrany tepelného izolantu ke zvýšení tepelné stability vnitřního prostředí a také teploty na rozhraní vnějšího izolantu a nosné hmotné konstrukce θ_{s2} . Je pravděpodobné, že tímto principem ztrácíme kladné zisky při teplých a solárně vydatných dnech $chmiRGLB_{10}$, avšak celková ochrana před ochlazením nám přináší daleko větší výhody.
- Velmi vhodně působí varianta 2a pěnosclo. Materiál ovlivňuje současně akumulaci skladby viz **Tabulka 27**, fázový posun teplotního kmitu ψ a také difúzní tok, což vede k velmi stabilnímu průběhu teplot θ_{s2} . Materiál sice částečně eliminuje pozitivní přínosy solárních zisků $chmiRGLB_{10}$, avšak celkově vykazuje i při nočních hodinách vysoké hodnoty teplot, aniž by konstrukce samotná výrazně prochládala. Celkově lze říct, že je působení stavební úpravy 2a velmi příhodné.
- Vhodně působí varianty 3a a 3b, které při zvětšení VVV pozitivně ovlivňují celkový průběh teplot θ_{s2} . Výhodami je také změna fázového posunu teplotního kmitu ψ až do nočních hodin, což pozitivně ovlivňuje hustotu tepelného toku q_{k1} . Menšími nevýhodami je poté chování varianty při poklesu teplot vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$, kdy nastává relativně rychlé ochlazení. Poté, dohromady s působením fázového posunu teplotního kmitu ψ , nastává delší a pomalejší zahřívání. Z měsíce listopadu lze pozorovat, že se při relativním ustálení vnějšího prostředí z hlediska teplot $chmi\theta_{e1}$ jsou obě varianty výhodné s tím, že subtilnější stavební úprava 3a vede k lepšímu průběhu teplot θ_{s2} díky velmi pravděpodobně rozlišnému chování proudění.
- Všeobecně výhodnou se stává varianta 1, která díky navýšení tloušťky konstrukce d vylepšuje všechny vlastnosti viz **Tabulka 27**. To vede k lepšímu průběhu teplot, lepší akumulaci a tím vhodnější úspoře tepelné energie a vyšší akumulaci solárních zisků $chmiRGLB_{10}$. Negativem zůstává vyšší cena konstrukce, což je značnou nevýhodou.
- Méně výhodnou až nevýhodnou variantou je výměna izolantu za materiál PIR, tedy varianta 2c. Materiál samotný lépe odolává ochlazení horního povrchu, než je tomu například v případě minerální vlny, což vede k lepšímu průběhu v měsíci dubnu, avšak celkově se subtilnost d materiálu stává nevýhodná.
- Nevýhodnou stavební úpravou se stává varianta 2b, tedy minerální vlna/vata. Materiál velmi špatně snáší jak teplotní výkyvy vnějšího prostředí $chmi\theta_{e1}$, tak zejména ochlazení horního povrchu, což celkově vede k nevýhodnému chování varianty.
- Nevýhodnou stavební úpravou se stává varianta 6. I když se varianta osvědčila v letních měsících, v přechodovém období se stává nevýhodnou. Společně s ovlivněním předávání tepla skladby zářením a také neopomenutelnou změnou difúzního toku vede k velmi nevýhodnému průběhu teplot θ_{s2} , který v denních hodinách vykazuje nižší teploty, které se dále negativně projevují také v nočních

hodinách. Pokud dále pohlédneme do měsíce listopadu zjistíme, že se stavební úprava chová téměř totožně, jako výchozí skladba.

- Dle průběhu teplot nebyl stanoven fázový posun teplotního kmitu ψ . Vzhledem k tomu, že se jedná o simulaci, nejsou hodnoty předmětem zkoumání. Pro přesné výsledky by bylo vhodné provést experimentální, optimálně laboratorní, měření.

F.7.5 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období

Pro snazší definování chování jednotlivých stavebních úprav byly vzaty informace ohledně průměrných teplot θ_{s2} a průměrných odchylkách viz **Tabulka 28** až **Tabulka 33** z kapitoly *F.6.3 Průběh teplot stavebních úprav v celém sledovaném období* a prezentovány viz **Tabulka 40**.

Z **Tabulka 40** jsou patrné provedené závěry předchozích kapitol, pouze tentokrát můžeme pozorovat všechny zmíněné změny a chování v ucelené tabulce současně se změnami v odchylkách, které vypovídají o lokálních výkyvech teplot, tedy amplitudách. Pro snazší pochopení je provedeno opětovně slovní hodnocení. Před hodnocením je vhodné zmínit, že byly použity v **Tabulka 40** neuvedené informace tabulek kapitoly *F.6.3 Průběh teplot stavebních úprav v celém sledovaném období* ohledně minimálních a maximálních teplot, kterých jednotlivé varianty v čase dosahují. Je nutné upozornit na myšlenku vyslovenou v kapitole *F.7.1 Selekce dat, omezení simulace* a hodnocení stavebních úprav ohledně problematického dílčího hodnocení.

Klíčové pro správné hodnocení je na veškerá prezentovaná data, vzhledem k fyzikálním a tepelně technickým změnám skladby viz **Tabulka 26** a **Tabulka 27**, ať se jedná o celé skladbě, nebo pouze předmětné změně dílčí vrstvy, pohlížet současně jako na samostatné mechanismy, tak také jako na součást většího celku. Přístup byl v následující kapitole plně aplikován.

	Měsíc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Varianta 1	Prům.[°C]	17,82	18,0	19,97	19,34	21,67	23,46	24,34	26,32	24,72	20,34	19,37	18,32
	Odch.[°C]	0,41	0,43	0,43	0,81	1,07	0,54	0,95	0,84	0,97	0,69	0,68	0,27
Varianta 2a	Prům.[°C]	18,42	18,67	20,44	19,5	21,78	23,38	24,26	26,27	24,75	20,61	19,81	18,84
	Odch.[°C]	0,39	0,45	0,41	0,81	1,1	0,5	0,92	0,82	0,89	0,61	0,57	0,27
Varianta 2b	Prům.[°C]	18,42	18,67	20,41	19,31	21,74	23,59	24,35	26,37	24,78	20,64	19,76	18,86
	Odch.[°C]	0,44	0,43	0,42	0,83	1,13	0,57	0,9	0,77	0,96	0,64	0,65	0,32
Varianta 2c	Prům.[°C]	18,35	18,59	20,39	19,46	21,78	23,45	24,33	26,35	24,72	20,53	19,72	18,77
	Odch.[°C]	0,4	0,45	0,42	0,89	1,13	0,58	0,99	0,87	0,97	0,6	0,62	0,29
Varianta 3a	Prům.[°C]	19,12	19,44	20,98	19,6	21,75	23,26	24,07	26,14	24,71	20,89	20,29	19,46
	Odch.[°C]	0,34	0,44	0,39	0,82	1,08	0,5	0,88	0,84	0,82	0,5	0,47	0,25
Varianta 3b	Prům.[°C]	18,98	19,29	20,85	19,49	21,64	23,17	23,98	26,05	24,6	20,8	20,17	19,32
	Odch.[°C]	0,35	0,44	0,39	0,82	1,08	0,5	0,87	0,83	0,81	0,5	0,48	0,26
Varianta 4a	Prům.[°C]	16,82	17,08	19,14	18,95	21,24	23,3	24,16	26,12	24,64	19,97	18,68	17,37
	Odch.[°C]	0,38	0,45	0,4	0,68	1,08	0,43	0,84	0,75	0,99	0,91	0,76	0,25
Varianta 4b	Prům.[°C]	17,01	17,15	19,24	19,05	21,48	23,46	24,4	26,31	24,81	20,11	18,87	17,6
	Odch.[°C]	0,38	0,38	0,43	0,66	0,98	0,44	0,84	0,77	0,97	0,87	0,73	0,24
Varianta 5a	Prům.[°C]	19,13	19,44	21,01	19,67	21,86	23,37	24,19	26,25	24,82	20,92	20,31	19,46
	Odch.[°C]	0,35	0,45	0,39	0,83	1,09	0,5	0,9	0,85	0,84	0,51	0,48	0,25
Varianta 5b	Prům.[°C]	19,12	19,43	21,01	19,71	21,88	23,37	24,19	26,25	24,81	20,9	20,3	19,45
	Odch.[°C]	0,35	0,45	0,4	0,83	1,09	0,5	0,91	0,85	0,85	0,51	0,48	0,25
Varianta 6	Prům.[°C]	18,42	18,65	20,46	19,53	21,8	23,43	24,28	26,3	24,72	20,58	19,78	18,84
	Odch.[°C]	0,4	0,45	0,42	0,87	1,11	0,55	0,96	0,85	0,93	0,59	0,6	0,28

Tabulka 40 Průměrné teploty a průměrné odchylky všech stavebních úprav [32]

F.7.5.1 Varianta 1 – změna tloušťky nosného pórobetonového pláště

Průměrné teploty θ_{s2} za celý rok, společně s odchylkami a také maximálními a minimálními výkyvy viz **Tabulka 28** řadí variantu 1 mezi vhodné. Lze vypořadovat, že hodnoty se po téměř celou dobu roku drží na velmi příhodných hodnotách a na jedné z nejmenších výchylek. Opět se potvrzuje, že navýšení tloušťky d se pozitivně projeví během celého roku.

I přes navýšení je však možné vidět, že průměrné hodnoty v letních měsících dosahují vysokých hodnot, což značí masivní akumulaci bez možnosti vyzářit teplo do okolí. Přesto lze shledat variantu jako vhodnou.

F.7.5.2 Varianta 2a – pěnosklo

Varianta 2a se ukazuje jako velmi přínosná stavební úprava, kterou lze vhodně použít po celý rok. Průměrné teploty θ_{s2} viz **Tabulka 40** jsou srovnatelné s variantou 1 a je možné pozorovat značné zlepšení napříč celým rokem. Za povšimnutí stojí zejména maximální a minimální teploty viz **Tabulka 28**, které jsou řádově o 0,2-0,8 °C lepší napříč celým rokem, i když varianta jinak dosahuje relativně srovnatelných odchylek. Je možné ji shledat jako velmi vhodnou.

F.7.5.3 Varianta 2b – minerální vlna/vata

Zde se projevuje paradox při průměrném porovnání skladeb během celého roku. Pokud vezmeme v potaz celé sledované období, teplotní rozdíly θ_{s2} mezi jednotlivými materiály jsou takřka minimální. I když byla shledána varianta 2b při kratších časových úsecích s výjimkou letních měsíců jako nevhodná, tak celkové průměrné hodnoty vypovídají naopak v její prospěch, což je mylné. Nelze opomenout chování varianty v krátké časové úseky viz předchozí kapitoly, kdy se výměna izolantu i přes její průměrně stejné hodnoty, jak dokazuje **Tabulka 29** a **Tabulka 40**, chovala v neprospěch uživatele a vedla k rychlejšímu ochlazení, nebo naopak nižšímu průběhu teplot θ_{s2} než jiné varianty. S přihlédnutím k předchozím závěrům je varianta shledána jako vhodná pouze pro letní období, i přes její zdánlivě nerozlišitelné průměrné teploty a odchylky.

F.7.5.4 Varianta 2c – polyisokyanurát

Paradoxní zjištění, kterého bylo dosaženo u varianty 2b se opětovně projevuje i případě varianty 2c, kdy se průměrné teploty θ_{s2} a jejich odchylky viz **Tabulka 29** a **Tabulka 40** v jednotlivé měsíce jeví na první pohled jako identické nehledě na materiálové řešení. Znovu lze vyslovit stejný závěr jako v kapitole *F.7.5 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období*, že i přes zjevné stejné průměrné hodnoty skladba při detailním zkoumání krátkých časových úseků v jednotlivých časových obdobích vykazovala z hlediska průběhu teplot θ_{s2} méně vhodné až nevhodné chování pro uživatele a případnou stabilizaci vnitřního prostředí. Problematickou se stává zejména subtilnost d samotné skladby. S přihlédnutím k předchozím analýzám a závěrům předchozích kapitol je varianta znovu shledána jako nevhodná z naprosto stejného důvodu.

F.7.5.5 Varianta 3a – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 60 mm

Varianta 3a se stejně, jako v předchozích zkoumaných časových úsecích jeví i dle průměrných hodnot teplot θ_{s2} jako účinná a vhodná. Lze si povšimnout napříč celým rokem velmi vhodných průměrných teplot viz **Tabulka 40**, které doprovází velmi nízké průměrné odchylky. Pokud se dále zaměříme na maximální a minimální teploty viz **Tabulka 30** zjistíme, že varianta dosahuje všeobecně jedné z nejlepších hodnot a je schopna držet optimální teploty napříč celým rokem. To jí činí jednou z nejlepších stavebních úprav, které lze v rámci skladby zakomponovat.

F.7.5.6 Varianta 3b – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 100 mm

Stejně jako ve všech doposud zkoumaných časových úsecích je možné říct, že ačkoliv má varianta 3b obrovské přínosy, stejně jako její subtilnější verze 3a, nenastává při dalším navýšení VVV razantní zlepšení, a naopak lze pozorovat horší průměrné teploty θ_{s2} v zimním a přechodovém období. To dále potvrzuje již uvedené hypotézy ohledně změny proudění, které

se nadále nestává prospěšným a velmi pravděpodobně vede naopak k opačným účinkům, tedy ochlazování. Varianta 3b se stává účinnější v letním období, kdy se větší vrstva vzduchu stává, velmi pravděpodobně, lepším izolantem. Současně se velmi pravděpodobně větší vrstva vzduchu podílí na ochlazení zmíněnou změnou proudění. I přes fakt, že se průměrné hodnoty ukazují po většinu roku jako horší viz **Tabulka 30** a **Tabulka 40**, je stavební úprava jednou z neúčinnějších variant, které můžeme v rámci skladby zhotovit.

F.7.5.7 Varianta 4a – zateplení strany interiéru pomocí minerální vlny/vaty

Zateplení interiéru se jeví jako velmi účinná stavební úprava, která všeobecně vede k velmi vhodným průběhům teplot θ_{s2} po většinu roku. Problémem se stává letní období. Jak můžeme vidět viz **Tabulka 40**, dochází k dosažení obdobných teplot, které jsou typické i pro jiné skladby. To s ohledem na fakt zateplení interiéru opět značí problém s nadměrnou akumulací tepla a solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ uvnitř skladby, která nemá díky zateplení z obou stran a zejména poté ze strany interiéru šanci snižovat své hodnoty. Z hlediska celého ročního období se projevuje v odchylkách, stejně jako minimálních a maximálních teplotách viz **Tabulka 31** hmotnější materiál minerální vlny/vaty. Ten díky vyšší objemové tepelné kapacitě κ dosahuje rozlišných hodnot než varianta 4b. To v praxi znamená, že díky nutnosti dodat více tepla do materiálu je průběh teplot ve všech obdobích nižší, což je příznivé. I přes své nedostatky v letním období je stavební úprava vhodná pro zimní a přechodové měsíce.

F.7.5.8 Varianta 4b – zateplení strany interiéru pomocí expandovaného polystyrenu.

Závěr analýzy varianty 4b je naprosto totožný s kapitolou *F.7.5 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období* s drobnou nuancí související s mírně vyššími hodnotami teplot θ_{s2} napříč celým sledovaným obdobím viz **Tabulka 40**, stejně jako vyššími maximálními a minimálními teplotami viz **Tabulka 31**, bohužel včetně problematického letního období. Průběh je způsoben naprosto totožným mechanismem jako u varianty 4a, který spočívá v objemové tepelné kapacitě κ polystyrenového materiálu. Kapacita je tentokrát několikanásobně nižší viz **Tabulka 27**, což umožňuje vstřebat za stejný časový úsek více tepelné či solární energie $_{chmi}RGLB_{10}$. Fakt je více příznivý v zimním a přechodovém období, avšak stává se značně problematickým během letního období. I s tímto nedostatkem je možné doporučit stavební úpravu jako vhodnou pro zimní a přechodové měsíce.

F.7.5.9 Varianta 5a – umístění DHV na bednění z difuzně otevřených desek

Uzavření skladby a ochrana tepelného izolantu spojená se zhotovením bednění se opět ukazuje během zimního a přechodového období z hlediska průběhu teplot θ_{s2} viz **Tabulka 40** jako velmi vhodná varianta vylepšení skladby. Díky ochraně izolantu před nadměrným prouděním vzduchu a tím vyšší ztráty tepla lze předpokládat výhodnost nové vrstvy, která nahrazuje jednu z VVV. Je nutné zmínit potenciální nevýhodu chování, která naopak zabraňuje pozitivnímu ochlazení konstrukce v letním období. Výhody i nevýhody jsou dále patrné z minimálních a maximálních hodnot viz **Tabulka 32**. Přesto je jasné, že skladba vylepšená pomocí DHV přináší nesporné výhody i s přihlédnutím k letnímu období a lze ji doporučit jako vhodnou pro zimní a přechodové měsíce.

F.7.5.10 Varianta 5b – umístění DHV na bednění z difuzně uzavřených desek

Varianta 5b vykazuje s odchylkou cca 0,4 °C v průměrných teplotách θ_{s2} viz **Tabulka 40** identické průběhy, jako varianta 5a. Na základě toho, stejně jako ve všech předchozích sledovaných časových obdobích, je možné vyhodnotit variantu stejně jako 5a a říct, že i když je letní období problematické, přináší nesporné výhody během zimního a přechodového období.

F.7.5.11 Varianta 6 – parotěsnicí vrstva z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou

Stavební úprava se opětovně z hlediska zkoumání průměrných teplot θ_{s2} během celého roku stává paradoxní ke zkoumání v krátkých časových úsecích. Jak si lze povšimnout, tak průměrné teploty viz **Tabulka 40**, stejně jako maxima a minima viz **Tabulka 33**, kterých dosahuje skladba během ročního období, jsou velmi srovnatelné s úpravami 2a až 2c, tedy s úpravou tepelného izolantu. S ohledem na zkoumání a závěry předchozích kapitol je možné usoudit, že se výhody a nevýhody varianty 6 nemění. Je vhodné jí používat pro lepší chování skladby v rámci letního období, avšak v jiné časové úseky nepřináší výrazné vylepšení.

Z hodnot teplot a odchylek stavebních úprav v rámci celého předmětného časového období je možné shrnout následující dílčí závěry.

- Posouzení jednotlivých stavebních úprav je s ohledem na použité metody bez možnosti prohlédnout si celkové průběhy v grafické podobě značně problematické až nemožné. Ačkoliv se ukazují výhody některých materiálových variant, například 3a nebo 5a, je téměř nemožné posoudit například výhody varianty 2a pěnoscyla, která na rozdíl od jiných materiálů disponuje zcela jiným průběhem teplot. Současně například varianta 6, která v porovnání s jinými stavebními úpravami vykazuje stejné průměrné teploty θ_{s2} a průměrné odchylky viz **Tabulka 40**, je v rámci posouzení nerozeznatelná ve svých výhodách a nevýhodách od jiných materiálových variant.
- V rámci analýzy bylo usouzeno, že není vhodné numericky srovnávat některé varianty, jejichž průměrné hodnoty θ_{s2} , pokud by byly graficky vyneseny, prakticky splývají dohromady. Je nutné grafického řešení viz kapitola *F.6.2 Průběh teplot stavebních úprav ve vybraných časových úsecích*.
- Současně můžeme přikročit k faktu, že při delších časových úsecích dochází k relativnímu vyvážení různých stavebních úprav a je předmětné se v delším časovém horizontu zaměřit na ty z nich, které vykazují jiné hodnoty. Vyvážení je způsobeno kombinací stejného vnitřního prostředí a okrajových podmínek, kterými disponuje a také neopomenutelným zákonem o zachování energie. Lze očekávat, že pokud stavební úpravy zásadně nemění funkcionalitu vrstev, jako například ovlivnění ochlazování povrchu izolantu, dojde při delším časovém horizontu k velmi stejnému výsledku. Nelze opomenout rozlišné chování v krátkých časových úsecích, které je stejně a možná i více podstatné.
- Všeobecně lze konstatovat, že závěry kapitol *F.7.2 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v zimním období*, *F.7.3 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období* a *F.7.4 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v přechodovém období* jsou znovu potvrzeny.

F.7.6 Analýza průběhu hustot tepelného toku v celém průmětném časovém období

Pro snazší práci s opětovným velkým množstvím dat byly vzaty hodnoty průměrných hustot tepelných toků q_{kl} a počtu dnů s kladným a záporným tokem, které byly prezentovány v následující tabulce viz **Tabulka 41**.

Kapitola je na hodnocení daleko více problematická, než například kapitola *F.7.5 Analýza průběhu teplot v celém průmětném časovém období*, kdy byly hodnoceny pouze teploty θ_{s2} , jejich průměry, výchylky, minima a maxima. Průměrné hustoty tepelných toků q_{kl} , společně s počty tepelně ziskových a ztrátových dnů, je nutné řešit společně průběhy teplot pro plné pochopení. Jak již bylo vysvětleno v kapitole *F.7.1 Selekcce dat, omezení simulace a hodnocení stavebních úprav*, je pravděpodobné, že vzhledem k masivnímu datovému objemu dojde k drobným odchylkám od skutečnosti. Odchytky však nevedou k zásadním chybám a je možné analýzu považovat za relativně přesnou. Pro dosažení výsledků byly zohledněny také zde neuvedená maxima a minima hustot tepelných toků viz **Tabulka 34** až **Tabulka 39**.

Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Suma
Var. 1	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,77	-1,96	-1,35	-0,40	-0,08	0,26	0,38	0,29	-0,19	-0,87	-1,34	-1,56	
	Dny + [-]	0,188	0,00	1,10	10,81	12,31	16,91	16,30	14,81	10,75	2,22	1,71	0,22	87,34
	Dny - [-]	30,81	28,00	29,90	19,19	18,69	15,30	14,70	16,19	19,25	28,78	28,29	30,78	279,88
Var. 2a	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,84	-2,03	-1,41	-0,45	-0,09	0,25	0,38	0,28	-0,16	-0,87	-1,37	-1,62	
	Dny + [-]	0,00	0,00	0,00	6,62	12,64	21,78	23,18	20,67	11,04	0,87	0,00	0,00	97,78
	Dny - [-]	31,00	28,00	31,00	23,39	18,37	10,44	7,82	10,33	18,96	30,14	30,00	31,00	270,44
Var. 2b	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,83	-2,02	-1,40	-0,41	-0,08	0,25	0,37	0,28	-0,17	-0,88	-1,37	-1,62	
	Dny + [-]	0,00	0,00	0,00	7,58	13,34	23,12	25,18	23,96	12,59	0,59	0,31	0,00	106,68
	Dny - [-]	31,00	28,00	31,00	22,42	17,66	9,09	5,82	7,04	17,41	30,41	29,69	31,00	260,53
Var. 2c	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,88	-2,07	-1,44	-0,42	-0,08	0,29	0,42	0,31	-0,18	-0,91	-1,41	-1,65	
	Dny + [-]	0,073	0,000	0,698	10,52	12,26	17,18	16,56	15,05	10,80	2,14	1,59	0,09	86,97
	Dny - [-]	30,93	28,00	30,30	19,48	18,74	15,03	14,44	15,95	19,20	28,87	28,41	30,91	280,24
Var. 3a	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,85	-2,05	-1,42	-0,45	-0,14	0,22	0,34	0,24	-0,24	-0,91	-1,40	-1,63	
	Dny + [-]	0,07	0,00	0,63	10,41	11,91	16,76	16,15	14,68	10,49	2,06	1,53	0,08	84,78
	Dny - [-]	30,93	28,00	30,38	19,59	19,09	15,44	14,85	16,32	19,51	28,94	28,47	30,92	282,44
Var. 3b	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,87	-2,06	-1,46	-0,52	-0,22	0,14	0,25	0,16	-0,32	-0,93	-1,43	-1,65	
	Dny + [-]	0,00	0,00	0,35	9,90	11,30	16,28	15,88	14,32	9,91	1,80	1,30	0,00	81,04
	Dny - [-]	31,00	28,00	30,65	20,10	19,70	15,94	15,13	16,68	20,09	29,20	28,70	31,00	286,18
Var. 4a	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,59	-1,78	-1,19	-0,34	-0,03	0,27	0,39	0,30	-0,18	-0,79	-1,21	-1,39	
	Dny + [-]	0,29	0,00	1,51	11,16	12,65	17,05	16,37	14,85	10,85	2,52	1,93	0,35	89,53
	Dny - [-]	30,71	28,00	29,49	18,84	18,35	15,17	14,64	16,15	19,15	28,48	28,07	30,65	277,69
Var. 4b	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,61	-1,79	-1,21	-0,35	-0,05	0,25	0,36	0,28	-0,20	-0,80	-1,23	-1,41	
	Dny + [-]	0,27	0,00	1,47	11,14	12,43	16,87	16,14	14,71	10,73	2,40	1,89	0,31	88,34
	Dny - [-]	30,73	28,00	29,53	18,87	18,57	15,34	14,87	16,29	19,27	28,60	28,12	30,69	278,88
Var. 5a	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,84	-2,04	-1,40	-0,39	-0,05	0,31	0,43	0,33	-0,15	-0,88	-1,38	-1,62	
	Dny + [-]	0,06	0,00	0,72	10,83	12,59	17,65	17,01	15,56	11,25	2,18	1,65	0,08	89,59
	Dny - [-]	30,94	28,00	30,28	19,17	18,41	14,56	13,99	15,44	18,75	28,82	28,35	30,92	277,63
Var. 5b	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,84	-2,04	-1,39	-0,38	-0,05	0,31	0,44	0,34	-0,15	-0,88	-1,38	-1,62	
	Dny + [-]	0,08	0,00	0,79	10,88	12,52	17,52	16,77	15,37	11,15	2,20	1,67	0,10	89,04
	Dny - [-]	30,92	28,00	30,21	19,13	18,48	14,70	14,23	15,64	18,85	28,80	28,33	30,90	278,18
Var. 6	Prům. [$W \cdot m^{-2}$]	-1,84	-2,04	-1,40	-0,41	-0,09	0,28	0,40	0,29	-0,18	-0,89	-1,39	-1,62	
	Dny + [-]	0,07	0,00	0,74	10,59	12,25	17,19	16,60	15,10	10,83	2,10	1,58	0,12	87,19
	Dny - [-]	30,93	28,00	30,26	19,41	18,75	15,02	14,40	15,90	19,17	28,90	28,42	30,89	280,02

Tabulka 41 Průměrné hustoty tepelných toků q_{kl} a počty ziskových a ztrátových dnů stavebních úprav [32]

F.7.6.1 Varianta 1 – změna tloušťky nosného pórobetonového pláště

Výsledky průměrných hustot tepelných toků q_{kl} , stejně jako počtu ziskových a ztrátových dnů viz **Tabulka 41** a **Tabulka 34** mluví v kontextu navýšení tloušťky materiálu d ve prospěch dané stavební úpravy. Jak je patrné z dílčích informací, zejména rozložení počtu dnů, lze předpokládat, že varianta vede i přes nižší počet ziskových časových period oproti jiným úpravám ke značným výhodám.

Nižší počet dnů je možné si vyložit z doposud zjištěných informací jako kladné chování skladby, kdy teplota θ_{s2} na předmětném rozhraní je přirozeně nižší a vede tak k následné úspoře energie, jak je patrné i z průměrných hustot tepelných toků q_{kl} . Nižší teplota na kritickém rozhraní vnějšího izolantu a nosné hmotné konstrukce dále přináší možnost kladných ziskových hustot toků, jak je možné pochopit například z přechodových měsíců. Z hlediska předmětných informací a dat je možné shledat stavební úpravu jako vhodnou pro celé sledované roční období.

F.7.6.2 Varianta 2a – pěnosklo

Stavební úprava je v celém kontextu, zejména s ohledem na jiné stavební úpravy velmi vhodná. Jak lze vyvodit z dosud zjištěných informací přenesených do kontextu a výsledků dat **Tabulka 34** a **Tabulka 41**, zejména poté s ohledem na průběh teplot θ_{s2} , vede použití pěnoskla nejenom k velmi výhodným průměrným hodnotám hustot tepelných toků q_{kl} , ale zejména k vysokému počtu energeticky kladných dnů s relativně optimálním rozložením.

Nízký až nulový počet kladných dnů v zimních hodnotách dohromady s výsledky kapitoly *F.7.2 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v zimním období* a *F.7.4 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v přechodovém období* značí značné akumulaci schopnosti viz **Tabulka 27**, které nevedou k zásadnímu ochlazení skladby, která, při zpětném zahřátí, by se vykazovala kladnou hustotou tepelného toku.

Současně je s ohledem na kapitolu *F.7.3 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období* možné vyvodit, že naopak nižší počet kladných dnů v letním období nevede z hlediska skladby k nadměrnému přehřátí. S ohledem na shrnutí informací a analýz je možné shledat stavební úpravu z hlediska hustot tepelných toků jako velmi vhodnou.

F.7.6.3 Varianta 2b – minerální vlna/vata

Varianta 2b vyznačující se nejvyšším počtem kladných dnů je, co se týče hodnocení, které by bylo založeno pouze na průměrných hustotách tepelných toků q_{kl} a rozložení počtu kladných a záporných dnů, nejvíce paradoxní a zavádějící. Lze si povšimnout, že průměrné hustoty toků jsou téměř stejné jako u předchozí varianty 2a viz **Tabulka 35** a **Tabulka 41**. To vypovídá o nevýrazné změně v celkových teplotních a solárních ziscích. Kladné dny dále nevypovídají o příznivosti působení skladby.

Pokud se zaměříme na rozložení v čase a přejdeme k průběhům a jejich závěrům, například z kapitoly *F.7.4 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v přechodovém období* zjistíme, že jednotlivé hodnoty vypovídají o prochlázení skladby. Jak bylo uvedeno, materiál je velmi prodyšným a bez ochrany horního povrchu, například stavební úpravou varianty 5a nebo 5b dochází k výraznému ochlazení, a tudíž rychlému prochlázení, což vede ke značné nevýhodě v zimních a přechodových obdobích.

Naopak v letním období si lze povšimnout nárůstu kladných dnů. To vypovídá se závěry kapitoly *F.7.2 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v zimním období* o schopnosti nadměrné prochlázení naopak otočit ve prospěch uživatele. To vede k výhodě varianty 2b v letní dny. Je možné stavební úpravu z hlediska hustot tepelných toků/zisků q_{kl} a rozložení kladných a záporných dnů shledat jako nevýhodnou v zimní a přechodové období. Současně je stavební úprava výhodná v letním období, kdy vysoké počty kladných dnů znamenají schopnost skladby eliminovat vstřebané teplo díky vyšší prodyšnosti.

F.7.6.4 Varianta 2c – polyisokyanurát

Chování materiálu PIR je z hlediska hustot tepelných toků q_{kl} velmi nevypovídající a celkem problematické na objektivní hodnocení. Je možné si všimnout mírně vyšších průměrných hustot tepelných toků viz **Tabulka 35** a **Tabulka 41**, které odpovídají samotné a

opakovaně zmíněné subtilnosti materiálu d . Současně si lze povšimnout, že skladba vykazuje drobné nárůsty v počtu kladných dnů během přechodových měsíců. V kontextu předchozích kapitol je možné shledat, že dochází k výraznému poklesu teplot θ_{s2} na rozhraní a stavební varianta tak následně vykazuje ony kladné toky. Ty vypovídají o daleko menší operační teplotě a jakýkoliv nárůst vnějších teplot θ_{e1} či nadměrné dodání solárních zisků $\text{chmi}RGLB_{10}$ vede k navýšení.

Opačně k tomuto efektu je vhodné si povšimnout hodnot v letní měsíce, které jsou oproti jiným variantám značně nižší. Z kapitoly *F.3.7 Analýza průběhu teplot materiálůvých variant v přechodovém období* je možné vyvodit, že je teplota θ_{s2} naopak vyšší, což vede k nižšímu počtu tepelných zisků, jelikož je již rozhraní nadměrně prohřáté. Na základě celkových výsledků všech kapitol lze vyvodit závěr, že varianta 2c není všeobecně vhodná a vede díky subtilnosti a nižším akumulačním schopnostem viz **Tabulka 27** nejen ke ztrátám v zimním a přechodovém období, ale současně k problematickému chování v létě, které bylo opakovaně potvrzeno jak z průběhů, tak i průměrných teplot θ_{s2} .

F.7.6.5 Varianta 3a – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 60 mm

Varianta 3a působí z hlediska průměrných hustot tepelných toků q_{kl} a rozložení dnů v čase velmi zavádějícím způsobem. Lze pozorovat mírný počet kladných toků v čase a současně relativně nic nevypovídající průměrné toky viz **Tabulka 36** a **Tabulka 41**. Nutností je přihlídnutí k jednotlivým průběhům teplot θ_{s2} a předchozí analýze. Pokud informace dáme do celkového kontextu zjistíme, že se varianta ve skutečnosti chová lépe než většina ostatních variant. Nízké průměrné hustoty tepelných toků, kterými je úprava charakterizovatelná, jsou vyložitelné jako velmi stabilní průběh teplot, který nevykazuje nadměrné zisky či ztráty v čase, tedy žádané chování. Současně je rozložení kladných a záporných dnů v čase vypovídající ohledně stálejší teploty na předmětném zkoumaném rozhraní θ_{s2} .

Pokud porovnáme skladbu 3a a 3b zjistíme, že průměrné hustoty toků q_{kl} jsou v letních měsících u varianty 3a mírně vyšší. Při nahlédnutí do kapitoly *F.7.3 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období* a *F.7.3 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období* zjistíme, že výhodnější je, z hlediska průběhů teplot θ_{s2} , které jsou v zimním a přechodovém období vyšší, varianta 3a. Současně opakem je letní období, které vychází o něco hůře než u varianty 3b. Průměrné hustoty toků q_{kl} domněnky dále utvrzují. Z počtu celkových kladných dnů je patrné lepší chování v zimě a mírně horší chování v létě. Z hlediska hustot tepelných toků lze říct, že varianta 3a je velmi vhodnou stavební úpravou. V porovnání variant 3a a 3b mezi sebou zjistíme, že varianta VVV o tloušťce 60 mm je výhodnější pro zimní a přechodové měsíce, kde vede k lepšímu zamezení ztráty objektu.

F.7.6.6 Varianta 3b – větraná vzduchová vrstva o tloušťce 100 mm

Varianta 3b se chová znovu velmi obdobně, jako varianta 3a viz **Tabulka 36** a **Tabulka 41**. Můžeme vidět podobné průměrné hodnoty hustot tepelných toků q_{kl} , s výjimkou již popsaného mechanismu fungování samotné VVV. Mechanismus, pravděpodobně rozlišného způsobu proudění ve VVV, vede k vyššímu ochlazení horní vrstvy tepelného izolantu, což má za následek mírný pokles teplot v zimním a přechodovém období θ_{s2} , tedy nevýhodu z hlediska hustoty tepelného toku, ať již ztrátového nebo ziskového. Opakem je léto, kdy stejné chování zajišťuje žádané ochlazení izolantu, což vede ke snížení teplot konstrukce. Výsledky jsou kompatibilní se závěry kapitoly *F.7.6 Analýza průběhu hustot tepelného toku v celém předmětném časovém období* a je možné prohlásit ji za velmi vhodnou. V porovnání variant 3a a 3b se stavební úprava 3b stává výhodnější pro letní období.

F.7.6.7 Varianta 4a – zateplení strany interiéru pomocí minerální vlny/vaty

Varianty 4a a 4b jsou všeobecně, podle závěrů **Tabulka 37** a **Tabulka 41**, jedny z nejlepších stavebních úprav, co se týče hustot tepelných toků q_{kl} . Průměrné hodnoty hustot jsou v zimním a přechodovém období diametrálně odlišné od všech ostatních variant a dosahují velmi výhodných hodnot. To značí velmi pravděpodobně vysoké přínosy z hlediska teplot θ_{ai1} interiéru. Domněnku dále potvrzuje počet kladných dnů. Ten oproti například variantě 1 či 2c značí, že teplota na rozhraní θ_{s2} nedosáhne díky vnitřnímu tepelnému izolantu takových teplot a může tak být pomocí solárních zisků $_{chmi}RGLB_{10}$ vyhřívána, což celou variantu 4a dělá velmi výhodnou. Hmotný materiál šikmého střešního pláště je chráněn z obou strana a je velmi výhodně dotován solárními i tepelnými zisky.

Problém nastává v letním období mechanismus perzistentně ohřívá interiér θ_{ai1} díky onomu zateplení hmotné nosné konstrukce. Teplo, které by přirozeně vyzářeno v nočních hodinách zůstává v materiálu delší dobu a společně s fázovým posunem teplotního kmitu ψ vede k ohřevu interiéru. I když hodnota teploty není značná viz kapitola *F.7.3 Analýza průběhu teplot stavebních úprav v letním období*, nelze jí opomenout.

V porovnání variant 4a a 4b lze vidět drobné rozdíly v hustotách toků a velmi drobnému rozložení kladných a záporných dnů. Rozdíl je způsoben objemovou tepelnou kapacitou κ a z ní plynoucích akumulačních schopností materiálu viz **Tabulka 27**. Stavební úpravu je možné prohlásit na vhodnou pro zimní a přechodové období. Využití v letním období je nevhodné.

F.7.6.8 Varianta 4b – zateplení strany interiéru pomocí expandovaného polystyrenu.

Variantou 4b se dále potvrzuje závěr předchozích kapitol o vhodnosti zateplení interiéru v zimním a přechodovém období s problémem v letním období, který vede k pravděpodobnému navýšení teploty interiéru θ_{ai1} . Porovnáním varianty 4a a 4b zjistíme mírně vyšší hustoty tepelných toků q_{kl} a zimním a přechodovém období, a naopak nižší hustoty toků v letním období, což opětovně koresponduje v objemovou tepelnou kapacitou materiálu ψ , která je tentokrát nižší než hmotnější varianta 4a viz **Tabulka 26** a **Tabulka 27**. Ta vede k rychlejšímu vstřebávání a vydání tepla ať do nebo ze skladby hmotného pláště.

Závěrem hodnocení je všeobecná výhodnost stavební úpravy 4b, opět s ohledem na zimní a přechodové období, kdy nižší objemová tepelná kapacita κ vede k vyššímu průběhu teplot θ_{s2} , což ji činí výhodnější v tomto časovém úseku oproti variantě 4a. Opakem výhodnosti je problematika chování v letním období, kdy úprava hůře chrání konstrukci vůči nárůstu teplot a je v tomto čase nevhodná.

F.7.6.9 Varianta 5a – umístění DHV na bednění z difuzně otevřených desek

Použití bednění vede na obdobné chování z hlediska průměrných hustot tepelných toků q_{kl} a počtu kladných a záporných dnů viz **Tabulka 38** a **Tabulka 41**, jako například u varianty 1, nebo částečně u variant 4a či 4b. Závěry průběhů hustot je možné reprezentovat pouze díky předchozí analýze průběhů teplot θ_{s2} tak, že v zimním a přechodovém období nedochází k nadměrnému poklesu teplot na horní hraně tepelného izolantu, kdy zabráňujeme nadměrnému ochlazení horního povrchu tepelného izolantu. Přesto můžeme vidět menší nárůst kladných dnů, což lze vyložit, opět díky předchozí analýze, jako zabránění prochladnutí a následného předání tepla při teplejších a zejména solárně vydatných zimních dnech. Stejný princip se uplatňuje v létě, tentokrát zcela opačně. Bednění zabráňuje pozitivnímu ochlazování, což je vidět naopak na jedné z nejvyšších průměrných hustot tepelných toků. Hlavní výhody úprava přináší zejména v zimním a přechodovém období a není tak doporučena pro letní měsíce.

F.7.6.10 Varianta 5b – umístění DHV na bednění z difúzně uzavřených desek

Úprava skladby 5b je nerozeznatelná od varianty 5a, jak je možné si povšimnout z průměrných hustot teplotních toků q_{kl} v jednotlivých měsících. Lze pozorovat menší rozdíl mezi ziskovými a ztrátovými dny viz **Tabulka 38** a **Tabulka 41**. Malý deficit varianty 5b je způsoben velmi pravděpodobně rozdílem difúzních toků, které jsou pro variantu 5b nižší díky uzavřenosti desek. Lze říct, že vliv difúzních toků, který je typickým pro varianty 2a a 6 a který ovlivňuje také hustotu tepelného toku skladbou se dále potvrzuje i u těchto variant. Je možné variantu 5b shledat opětovně jako vhodnou v zimním a přechodovém období. Úprava není doporučena pro léto.

F.7.6.11 Varianta 6 – parotěsnicí vrstva z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou

Posouzení varianty 6 je z hlediska průměrných hustot tepelných toků q_{kl} a časového rozložení ziskových a ztrátových dnů viz **Tabulka 39** a **Tabulka 41** velmi zavádějící, zejména v průmětu všech doposud provedených úprav, kdy není možné prakticky sledovat žádnou změnu v žádné z uvedených hodnot. Při dalším vyhodnocení s ohledem na průběhy teplot předchozích kapitol je možné si povšimnout mírně rozdílného chování průměrných hustot tepelných toků a rozložení ziskových dnů v čase ve všech obdobích. Přes subtilnost vrstvy d dostáváme v zimních a přechodových měsících relativně zanedbatelné, avšak neopomenutelné zisky. Ty značí s ohledem na kapitolu *F.6.2 Průběh teplot stavebních úprav ve vybraných časových úsecích* nižší lokální průběhy teplot $\theta_{s,2}$, kdy materiál velmi pravděpodobně reflektuje solární zisky nazpět do exteriéru.

Nelze opomenout ovlivnění chování difúzním tokem, které není znatelně kvantifikovatelné. V létě obdobné chování difúzního toku a reflektance vede k mírně nižší průměrné hustotě tepelnému toku q_{kl} . Dle informací je vhodné používat úpravu pro lepší chování skladby v rámci letního období, avšak v jiné časové úseky nepřináší výrazné vylepšení. Vylepšení je velmi obtížně zachytitelné a bez předchozí analýzy by se jednalo o opomenutelnou informaci.

Z průběhů hustot tepelných toků během celého časového úseku možné shrnout následující dílčí závěry.

- Hustoty tepelných toků jsou bez jakéhokoliv dalšího porovnání či související analýzy, která souvisí zejména s grafickými průběhy teplot, samostatně zavádějící a nevypovídající. Při hodnocení je nutné nahlížet na informace jako na vzájemně provázaný celek nejen na úrovni samotných variant, ale také jako celého datového celku. Nutnost vychází z úprav různých vrstev. Současně není možné objektivně provést analýzu bez porovnání s výchozím stavem, který je patrný v grafech kapitoly *F.6.2 Průběh teplot stavebních úprav ve vybraných časových úsecích*.
- Veškeré výsledky poukazují při zohlednění celého kontextu na pravdivost již vytvořených závěrů z předchozích kapitol bez žádné změny, která by vedla k přehodnocení některé ze stavebních variant.
- Nově se objevuje rozdíl mezi variantami 5a a 5b, kde je díky rozdílu tepelných toků možné zachytit vliv difúzního toku na chování skladby. Další závěry nebudou z důvodů opakování již dosaženého více rozepsány.

Tato a předcházející kapitola odpovídá na otázky kladené v kapitole *C.1 Vytyčení cílů*, konkrétně poté plně na cíl 4. Také došlo k rozšíření poznání cíle 1 a 2. Celkové shrnutí a odpovědi na veškeré vytyčené cíle budou uvedeny v kapitole *G. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE*

G. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

- ❖ **G.1** Komparace experimentálního měření a simulačních výpočtů
- ❖ **G.2** Chování hmotné nosné konstrukce šikmé střechy
- ❖ **G.3** Vliv objemové hmotnosti na chování konstrukce šikmé střechy a její následný vliv na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí
- ❖ **G.4** Vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy na chování a nároky vnitřního prostředí
- ❖ **G.5** Vliv různých stavebních úprav hmotného pláště šikmé střechy na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí

G.1 Komparace experimentálního měření a simulačních výpočtů

Cílem komparace je opětovné a objektivní zhodnocení výsledků simulací a jejich následné srovnání s experimentálním měřením, které znovu přináší a vysvětluje nuance a divergence jednotlivých simulací od skutečných výsledků pro jednotlivé cíle.

G.1.1 Komparace simulace skutečného stavu objektu pro dosažení cíle C.1

Jak bylo uvedeno v kapitole *E.4.2 Kompilace simulačního modelu*, komparace simulace skutečného stavu a experimentálně naměřených hodnot pórobetonové hmotné skladby střešního pláště viz **Tabulka 12** dosahuje velmi vysoké přesnosti, která po srovnání pomocí integrace samotných průběhů a z nich vypočtených ploch vychází v průběhu celého roku s průměrnou podobností až 96,84 %. Lze usoudit, že výsledky jsou velmi přesné a je možné simulaci, která dosahuje této velmi vysoké podobnosti, vzít a použít ji pro dosažení dalších cílů. Lze očekávat, že při správné koncepci budou dosažené cíle opětovně o velmi vysoké přesnosti.

Je možné na základě komplexní analýzy všech cílů a simulací viz kapitola *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace* vyvodit závěr, že rozsáhlé experimentální měření, které předcházelo simulacím, tvoří naprostý základ a bez jeho realizace nelze objektivně vyvodit závěry dosažené v této práci bez značné divergence od reality.

G.1.2 Komparace simulace změny materiálu pláště se skutečností pro dosažení cíle C.2

Simulace materiálové změny výchozí skladby disponující pórobetonovým materiálem viz kapitola *E.4.2 Kompilace simulačního modelu* a **Tabulka 11** je kompilována na stejném simulačním modelu, který byl zmíněn v předchozí kapitole a který dosahuje viz **Tabulka 12** až 96,84 % podobnosti s realitou. Vzhledem k charakteru nahrazované vrstvy modelu kapitoly *F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce* popsané **Tabulka 16**, tedy hmotného pláště šikmé střechy a jeho změny materiálu za jiný hmotný materiál lze uvažovat, že vysoká výchozí podobnost modelu s realitou zajistí dostatečnou přesnost na vytvoření objektivních závěrů.

Přes tuto skutečnost je velmi pravděpodobné, že pokud by bylo realizováno další experimentální měření u pláště, které jednotlivými materiálovými variantami disponují, dojde k mírně rozlišnému chování teploty na vnitřní straně hmotného pláště šikmé střechy θ_{s2} . Fakt vychází ze vzájemného ovlivnění vnitřního a vnějšího prostředí, kterému je plášť vystaven. Odchylka je uvažována a zahrnuta do výsledků a je s ní pracováno.

Daleko vyšší divergence od reality by však hrozila při plném nahrazení hmotného materiálu za jiný, výrazně lehčí materiál, který by nedisponoval stejnými akumulačními vlastnostmi a stejných charakterem, který varianty A až D přináší viz **Tabulka 16**. Vzhledem k charakteru simulace a celkové koncepci kompilace a modelace je však výsledná přesnost dostatečná a lze uvažovat, že teploty na obou sledovaných rozhraních θ_{s2} a θ_{s1} budou ve vyhovující přesnosti, která bude logicky nižší než u výchozí simulace. Závěry kapitoly budou ve vyhovující kvalitě.

G.1.3 Komparace simulace změny orientace konstrukce vůči světovým stranám se skutečností pro dosažení cíle C.3

Nutností před samotnou komparací výsledků a jejich použitím je si v korespondenci s dílčími závěry kapitoly *F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám* uvědomit, že případné výsledky a závěry dosaženého cíle jsou velmi pravděpodobně korektní v uvedené podobě pouze pro obdobné objekty o obdobné dispozici. Dále také pro objekty, které disponují hmotným pláštěm šikmé střechy, stejnou koncepcí vnitřního užívání a také stejnými či velmi podobnými teplosměnnými plochami, včetně jejich orientace.

Pro dosažení co nejvyšší přesnosti samotné simulace bylo přikročeno k velmi podrobnému sestavení vnitřního prostředí včetně problematicky kvantifikovaných specifikací, jako je například intenzita užívání vnitřních prostor, rozložení užívání v čase a další viz kapitola *F.4.1 Kompilace modelů*. Díky tomu mohlo být dosaženo uspokojivé přesnosti v jednotlivých měsících, která průměrně za celé zkoumané období dosahuje viz **Tabulka 24** téměř 94,89 % přesnosti při komparaci se skutečnými naměřenými hodnotami.

Stejně jako u kapitoly *G.1.2 Komparace simulace změny materiálu pláště se skutečností pro dosažení cíle C.2* je nutné vyslovit domněnku, že pokud bychom prováděli komparaci simulace se skutečnými experimentálně zajištěnými hodnotami teplot je pravděpodobné, že by divergence výsledků byla značná. Vzhledem k dosažené přesnosti a nemožnosti napodobit experiment stejného objektu, pouze s jinou orientací, jsou výsledky uvažovány jako dostatečné a závěry kapitoly jsou ve vyhovující míře kvality.

G.1.4 Komparace simulací stavebních úprav se skutečností pro dosažení cíle C.4

Simulace stavebních úprav je opětovně vystavěna na výchozím modelu o kompozici skladby dané viz **Tabulka 11** určeném pro dosažení cíle C.1 a lze tak očekávat vysokou přesnost výsledků.

Problémem je variabilita stavebních úprav, které jsou popsány kapitolou *F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu* a konkrétně poté viz **Tabulka 26**. Úpravy, kterým je výchozí skladba samotná podrobena, není možné objektivně a bez předchozích znalostí objektivně analyzovat. Současně se velmi problematické stává odhalení skutečného chování bez grafického průběhu teplot, bez kterého není možné vyvodit korektní závěry.

V rámci přesnosti simulace byla ze samotné analýzy záměrně vypuštěna teplota na rozhraní nosné hmotné konstrukce a interiéru θ_{s1} , která by díky typu a druhu stavebních úprav byla značně zavádějící. Prezentované výsledky a závěry z nich plynoucí jsou tedy vztaženy primárně k teplotě na rozhraní nosné hmotné konstrukce a tepelného izolantu θ_{s2} , které nebudou výrazněji zkresleny vnitřním prostředím, které by se dynamicky podle stavební úpravy měnilo. Pro odhalení přesného chování by bylo nutné realizovat pro každou stavební úpravu experiment tak, aby bylo dosaženo stejné roviny přesnosti. Vzhledem k nemožnosti dosáhnout této míry poznání jsou výsledky uvažovány jako vhodné, dostatečné a použitelné.

G.2 Chování hmotné nosné konstrukce šikmé střechy

Kapitola plně odpovídá na body formulované v rámci cíle 1, který zjišťuje chování hmotné konstrukce šikmé střechy z hlediska teploty, tepelného toku, difúzního toku, fázového posunu teplotního kmitu, akumulace a rychlosti odezvy v kritických a přechodových měsících. Shrnutí je čerpáno z výsledků kapitol *E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací* a *E.5 Analýza výsledků experimentálního měření a simulace* zabývající se analýzou hmotné pórobetonové střešní nosné konstrukce popsané viz **Tabulka 11**.

G.2.1 Chování teplot

Hmotné pláště šikmých střech se chovají z hlediska teplot zcela odlišně než lehké pláště a vedou k lepšímu průběhu teplot v zimním a přechodovém období roku. Současně díky stejnému mechanismu vedou k potenciálně horšímu průběhu v případě letních měsíců.

Dále lze vyvodit, že hmotný materiál zakomponovaný do šikmé střechy, v tomto konkrétním případě pórobeton, všeobecně vede k velmi stabilnímu průběhu teplot, který se nevyznačuje typickými a markantními výkyvy či amplitudami, jako je tomu například u lehkých plášťů, jak je možné vidět například v kapitole *E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkosti v předmětných vrstvách* a dále poté *E.4.5 Průběh teplot jednotlivých vrstev v zimním období až E.4.9 Průběh teplot v kritických datech*. Přesto je možné značné výkyvy pozorovat například v letních měsících viz **Tabulka 13** a **Tabulka 14** kapitoly *E.5.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období* kapitoly *E.5.3 Analýza průběhu teplot v celém předmětném časovém období*, což značí masivní dodávku energie do skladby. Problémem hmotného materiálu je potenciál stálého růstu s ohledem na akumulační schopnosti při nadměrném tepelném toku viz **Tabulka 11**, který může být vyvolán například nadměrnými a kontinuálně dodávanými solárními zisky $_{chmi}RGLB_{10}$, a který je v hmotné skladbě ukládán. To celé vede v krátkém časovém úseku k pozitivnímu menšímu nárůstu teplot, avšak při delšímu vystavení k trvalému nárůstu teploty s daleko vyšším potenciálem.

G.2.2 Chování tepelného toku

Tepelné toky procházející skladbou střešního pláště dále potvrzují odlišnost hmotné konstrukce od lehké a opětovně vedou k pozitivnímu vlivu pláště během přechodových a zimních měsíců, kdy akumulace tepelného toku ve skladbě vede k úspoře. Opakem jsou opětovně letní měsíce, kdy stejný mechanismus vede k potenciální nežádoucí absorpci bez dostatečného vydání tepla a v souladu s G.2.1 Chování teplot vede k růstu teplot.

Podle výsledků izolinií viz kapitola *E.4.3 Roční izolinie teplot a vlhkosti v předmětných vrstvách Graf 14 až Graf 27* a analýzy hodnot tepelných toků v čase viz **Tabulka 15**, vede tento typ konstrukce k velmi stálé hustotě tepelného toku $_{a}q_{kl}$, na kterém se podílí zejména solární zisky $_{chmi}RGLB_{10}$ a stav teplot vnějšího prostředí $_{chmi}\theta_{e1}$. To dále podporuje mechanismus akumulace, kterým hmotné materiály pláště disponují a který při předchozí dodávce energie vede při například nepříznivé absenci poklesu vnější teploty a dostatečných energetických a tepelných ziscích k pokrytí ztrát.

G.2.3 Chování difúzního toku

Difúzní tok a s ním spojená vlhkost v předmětné skladbě hmotného střešního pláště je velmi dobře vstřebávána, redistribuována a následně odváděna ve formě evaporace.

Hmotné materiály šikmých střešních pláštů nejsou z hlediska difúze a vlhkosti problematické a chovají se velmi příznivě. Difúzní tok díky entalpii difundovaných vodních par ovlivňuje teploty v souladu s *G.2.1 Chování teplot* a *G.2.2 Chování tepelného toku* jak pozitivně, tak negativně.

Stejně jako u hustot tepelných toků můžeme dle výsledků izolinií viz kapitola *E.4.3 Roční izoliniie teplot a vlhkostí v předmětných vrstvách Graf 14 až Graf 27*, a také kapitola *E.4.4 Roční průběh vlhkosti Graf 28 a Graf 29* vidět ustálené difúzní toky skladbou, které nejsou díky absenci parotěsnicí vrstvy a díky přirozené pórovitosti hmotného pórobetonového materiálu pláště akumulovány. Je vhodné zmínit, že zabudovaná vlhkost je velmi rychle odváděna. Vlhkost dále nevede k biokorozi materiálu, jako u lehkých konstrukcí a při případné poruše lze problém odstranit bez nutnosti rozsáhlé výměny poškozených dílců.

G.2.4 Fázový posun teplotního kmitu

Fázový posun teplotního kmitu ψ je hmotnými materiály zakomponovanými do šikmého střešního pláště jak pozitivně, tak negativně ovlivněn a může měnit své hodnoty v závislosti na okrajových podmínkách až do řádu hodin. Posun samotný je velmi přínosný v zimních a přechodových měsících, kdy zajišťuje postupnou redistribuci přes den nastřádaných tepelných zisků v nočních hodinách a tím snižuje energetickou náročnost. Stejný mechanismus však vede k problematickému chování v létě, kdy nedovoluje rychlé vychladnutí konstrukce přes noční hodiny a nastává tak často až cyklický efekt akumulace tepla s vyššími rázy a postupným nárůstem.

Fázový posun teplotního kmitu ψ je u hmotných konstrukcí střešních pláštů velmi těžko stanovitelný. Akumulace samotná ve spojení s například nízkými, nebo naopak vysokými energetickými zisky konstrukce velmi zkresluje jak chování, tak rozeznatelné peaky/maxima časových period, které ke stanovení posunu slouží.

G.2.5 Akumulace a rychlost odezvy hmotné konstrukce

Akumulace a od ní odvislá rychlost odezvy konstrukce je hlavní předností hmotných materiálů zakomponovaných do střech, hlavním odlišovacím faktorem od lehkých střešních pláštů a zejména hlavním mechanismem, který rozhoduje o chování hmotných konstrukcí. Akumulace funguje ve prospěch i neprospěch konstrukce jako celku a je nejdůležitější vlastností, kterou hmotné pláště disponují. Díky akumulaci a následným energetickým ziskům je ovlivněna teplota, hustota tepelného toku a difúzní tok, tedy celkové chování konstrukce. Podle ročního období vede akumulace v zimním a přechodovém období k vyšším teplotám, a tedy i úsporám, a naopak v letním období se stává problematickou viz *G.2.1 Chování teplot až G.2.4 Fázový posun teplotního kmitu*, kdy vede k nashromáždění zisků bez dostatečné ztráty, což má za následek riziko přehřívání.

Definování akumulace a jejího přínosu je problematické, jelikož je výsledek přímo závislý na energetických ziscích skladby. Akumulace samotná dokáže být velmi přínosná. Hmotný plášť může sloužit jako masivní akumulátor, který v zimě a přechodových měsících energeticky méně dotujeme a díky masivnosti nám dodává teplo během nočních hodin či během vyššího poklesu teplot a snižuje náročnost na stabilizaci vnitřního prostředí viz **Tabulka 15**. Současně je nutno řešit letní období, kdy je energetická dotace mimo naše rozhodování a energie z vnějšího, často velmi nepříznivého, prostředí je ukládána stejnou mírou v materiálu, což vede naopak ke kontinuálnímu růstu teplot ve skladbě, a tudíž i nárůstu teplot $_{a}\theta_{ai}$ ve vnitřním prostředí, nebo nutnosti vydat více energie na zpětnou stabilizaci.

G.2.6 Shrnutí cíle 1

Zaměříme-li se na velmi stručné shrnutí jednotlivých analýz provedených a detailně vyhodnocených v rámci jednotlivých kapitol, lze s velkou mírou zjednodušení popsat chování hmotných pláštů šikmých střech následovně.

Hmotné pláště šikmých střech jsou přímo závislé z hlediska svého chování na dvou hlavních faktorech, a sice akumulačních schopnostech a tepelné energii k ní dodané, at' již z vnitřního prostředí, nebo daleko více rozhodujícího vnějšího prostředí a zejména poté solárních ziscích. Pokud jsou energie/zisky dostatečné, vede akumulace k příznivému působení v chladné dny/měsíce, nepříznivému působení v teplé dny/měsíce a naopak. Objemová hmotnost dále vede k rozlišnému chování difúzního toku, který může jak negativně, tak pozitivně ovlivnit teploty. Akumulace samotná tedy musí být bezpodmínečně uvažována a nelze jí při návrhu těchto konstrukcí zanedbat. Stejně tak není možné ve stejné analogii opomenout míru energetických a zejména solárních zisků, které do skladby působí.

Celý tento odstavec se dá shrnout do jediné věty, a sice „**Zákon zachování energie [135] je v případě hmotných pláštů šikmých střech klíčový, zcela neopomenutelný a je nutné ho vzít nejen v potaz, ale v rámci daleko vyšší akumulace materiálu s ním umět pracovat po celou dobu ročního období, jelikož může vést jak k výhodným, tak i nevýhodným stavům vnitřního prostředí.**“.

G.3 Vliv objemové hmotnosti na chování konstrukce šikmé střechy a její následný vliv na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí

Kapitola plně odpovídá na body formulované v rámci cíle 2, který hodnotí míru vlivu objemové hmotnosti skladby střešního pláště, která je ovlivněna volbou materiálu a s ní spojenou měrnou, plošnou a objemovou tepelnou kapacitou, na tepelnou stabilitu podstřešních prostor. Shrnutí je čerpáno z výsledků kapitol *F.2 Simulace změny materiálu nosné hmotné konstrukce* a *F.3 Analýza změny materiálu nosné hmotné konstrukce* zabývajících se analýzou změny materiálu střešní nosné konstrukce popsané viz **Tabulka 16**.

G.3.1 Chování teplot

Změna objemové hmotnosti ρ střešního pláště šikmé střechy a z ní vyplývající změna měrné c , plošné c_A a objemové tepelné kapacity κ má přímý vliv na průběh teplot. Je možné říct, že s rostoucí objemovou hmotností klesají průměrné i směrodatné odchylky, a tedy i výkyvy teplot. Objemově hmotnější materiály jsou teplotně stabilnější a vedou v letních měsících díky vyššímu požadavku akumulace k nižším teplotám než lehčí materiály. Současně jim akumulace propůjčuje schopnost přes zimu nashromáždit více tepla z různých zdrojů, a mít průměrně vyšší teploty. Problémem je doba ohřevu a doba chladnutí konstrukce, kdy například v nočních hodinách letního období lze pozorovat průměrně vyšší teploty než u lehčích variant.

Objemově méně hmotnější materiály se poté chovají opačně, vedou k méně stabilnímu průběhu, avšak je možné rychleji ovlivnit jejich teplotu, což je například výhodné zejména v zimním období, nebo u ochlazení v nočních hodinách letního období. Vznikají tedy dva různé mechanismy, oba závislé na akumulaci a energii.

Teploty materiálových variant, viz kapitola *F.2.2 Roční izolinie teplot a vlhkostí materiálových variant* viz **Graf 62** až **Graf 73** a dále poté kapitola *F.2.4 Průběh teplot materiálových variant ve vybraných časových úsecích* viz **Graf 76** až **Graf 80** v doprovodu **Tabulka 17** až **Tabulka 20**, se velmi liší v krátkém časovém období, kdy jsou výchyly plynoucí z různé objemové hmotnosti materiálu ρ nejvíce výrazné. Při delším časovém období je nutné řešit teploty společně s dodávkou energie.

G.3.2 Chování tepelného toku

Objemová hmotnost ρ se logicky přenáší i do tepelného toku, kdy objemově hmotnější materiály šikmých střech pojmou více tepla. Z hlediska letního období jsou tak výhodnější v krátkém časovém úseku s potenciálním rizikem postupného zahřátí při vystavení dlouhodobějšího energetického zisku. Čím vyšší objemová hmotnost ρ je, tím méně pravděpodobné je vznik rizika nashromáždění dostatečné hustoty tepelného toku.

Opakem je zimní a přechodové období, kdy je dodávka energie ovlivnitelná uživatelem a vytápěním. Zde poté platí, že pokud není tepelný tok přerušen a jeho hodnota je stálá, objemově hmotnější materiály vedou k lepšímu chování skladby z hlediska teplot, tedy nárůstu. Je nutné do objemově hmotnějších materiálů logicky dodávat více energie pro nárůst teplot. Energie je v materiálu více akumulována, což je pro některé časové úseky výhodné.

U objemově hmotnějších materiálů lze shledat ustálenější hustoty tepelných toků z hlediska průměrných a směrodatných odchylek, což dále vychází z akumulačních vlastností. To vypovídá o stabilnějších hustotách tepelných toků, jak je patrné viz **Tabulka 21** a **Tabulka 22**.

G.3.3 Chování difúzního toku

Difúzní tok je z hlediska změny materiálů u hmotného pláště šikmých střeš problematičtější a lze jej vztáhnout na tři spolu související veličiny, a sice objemovou hmotnost ρ , pórovitost n_x a faktor difúzního odporu μ . Ačkoliv dochází u všech variant ke vstřebávání, redistribuci a následné evaporaci, je rychlost a množství vlhkosti rozdílné. Všeobecně lze uvažovat, že pokud je materiál objemově hmotnější, disponuje vysokým faktorem difúzního odporu a nízkou pórovitostí, je křivka poklesu či nárůstu tvarově stálá a méně náchylná na výkyvy okrajových podmínek. Mechanismus funguje i obráceně a s objemově méně hmotnými variantami lze očekávat vyšší ovlivnění difúzního toku.

Stejně jako v závěrech kapitoly *G.2.3 Chování difúzního toku* nebo v kapitole *F.2.3 Roční průběh vlhkosti* viz **Graf 74** a **Graf 75** platí, že difúzní toky díky entalpii difundovaných vodních par ovlivňují teploty a tepelné toky jak pozitivně, tak negativně. Potenciálním problémem i výhodou je přirozeně vysoký podíl vody v některých materiálových variantách, který dále vede k negativnímu i pozitivnímu ovlivnění akumulačních vlastností.

G.3.4 Fázový posun teplotního kmitu

Tato veličina nebyla v případě změny materiálových variant hmotného pláště šikmé střešy přesně zachycena z důvodů potenciální nepřesnosti simulace a nutnosti velmi přesného měření. Navzdory tomu je možné vytvořit závěr, že čím objemově hmotnější varianta materiálu bude zakomponována, tím vyšší hodnoty bude fázový posun teplotního kmitu ψ dosahovat. Lze pozorovat, a očekávat, že pokud bude objemová hmotnost ρ vzrůstat, lze očekávat vyšší teploty konstrukce v nočních hodinách než u lehčích variant.

Lze předpokládat, že stanovení této veličiny bude s rostoucí objemovou hmotností ρ a menšími rozeznatelnými peaky/maximy mezi jednotlivými časovými periodami velmi problematičtější. Přesto je i teď v některých místech grafů kapitoly *F.2.4 Průběh teplot materiálových variant ve vybraných časových úsecích* viz **Graf 76** až **Graf 80** posun patrný a přináší s sebou výhody i nevýhody.

G.3.5 Akumulace a rychlost odezvy hmotné konstrukce

Akumulace opětovně funguje kladně i záporně v závislosti na rostoucí objemové hmotnosti konstrukce šikmého střešního pláště ρ . Objemově hmotnější materiály přirozeně disponují vyššími akumulačními vlastnostmi, což jim propůjčuje schopnost absorbovat více energie před navýšením teploty. To v korespondenci s kapitolou *G.2.5 Akumulace a rychlost odezvy hmotné konstrukce* vede ke snížení teplot v letních obdobích, jelikož je nutné více energie. Hrozí nadále riziko potenciálního kontinuálního nárůstu teplot, pokud by dodávaná energie byla dostatečná. Přesto jsou hmotnější varianty výhodné. Hmotnější varianty se z hlediska akumulace chovají lépe v zimních a přechodových měsících, kdy díky stálosti přísunu energie pomáhá objemová tepelná kapacita κ , tedy akumulace, dosáhnout vyšších a stálejších teplot i při případném dočasném přerušení dodávky energie.

Akumulace a její přínos je opět velmi problematičtější vyjádřitelný a je opětovně a daleko více než předtím přímo závislý na energetických ziscích skladby. Závěry předchozí kapitoly *G.2.5*

Akumulace a rychlost odezvy hmotné konstrukce jsou zde daleko více markantní a lze prohlásit že s rostoucí objemovou hmotností ρ a rostoucí akumulací viz **Tabulka 16** se samotná hmotná konstrukce začíná více podobat masivnímu akumulátoru včetně jeho výhod a nevýhod.

G.3.6 Shrnutí cíle 2

Obdobně jako v závěru kapitoly G.2.6 *Shrnutí cíle 1* je forma shrnutí značně nedostatečná a zavádějící. Vliv objemové hmotnosti skladby střešního pláště však lze shrnout následovně.

Objemová hmotnost ρ šikmého střešního pláště a její změna vlivem jiného použitého materiálů má přímý vliv na teploty, tepelné toky, difuzní toky a zejména na naprosto klíčovou akumulaci a rychlost odezvy konstrukce, která je spojená s měrnou c , plošnou c_A a objemovou tepelnou kapacitou κ . Lze rozeznat dva modely chování.

- **Materiály, které disponují vysokou objemovou hmotností ρ a akumulacími vlastnostmi jsou výhodné v létě, kdy tyto vlastnosti umožní lépe absorbovat energetické zisky. Díky tomu, že musíme dodat víc energie nedochází k rychlému nárůstu teplot a současně se průměrné teploty drží trvale v nižších hodnotách. V zimě a přechodovém období je nutné konstrukce trvale a průměrně více energeticky zásobovat, což vede k vyšším hodnotám teplot v těchto obdobích a současně při přerušení dodávky jsou tyto konstrukce dlouhodoběji stabilnější a pokles teplot je postupný. Nevýhodou je vyšší fázový posun teplotního kmitu ψ a potřeba do skladby dodat více energie v zimě.**
- **Materiály, které disponují nižší objemovou hmotností ρ a akumulacími vlastnostmi jsou méně výhodné v létě, jelikož jim na zahřátí stačí méně energie a mají tak přirozeně vyšší průběh teplot než hmotnější varianty. Současně dochází k rychlejšímu nárůstu i poklesu teplot. V zimě a přechodovém období je opětovně nutné tyto konstrukce trvale a kontinuálně energeticky zásobovat, avšak při menší hustotě tepelném toku, což je naopak výhodné, avšak současně menší tepelný tok ve spojení s menší akumulací a nižším fázovým posunem teplotního kmitu ψ vede ve finále k mírnému poklesu průměrných teplot. Při přerušení dodávky tyto konstrukce rychleji ztrácí svou stabilitu a pokles teplot je rychlejší. Nevýhodou je menší fázový posun teplotního kmitu ψ a menší potřeba energie v letním období pro zahřátí.**

Celý odstavec lze shrnout do dvou vět, a sice „Čím objemově hmotnější materiál je, tím vyššími akumulacími vlastnostmi disponuje. To je výhodou pro letní měsíce z hlediska menších teplot, avšak potenciálně vyššího rizika nárůstu teplot v čase při kontinuální dodávce. Současně je potenciální výhodou i nevýhodou pro zimní a přechodové měsíce, kdy sice dosáhneme vyšších teplot díky nashromáždění energie z vytápění a solárních zisků vlivem akumulace a fázového posunu teplotního kmitu, avšak průměrný přísun energie musí být značný. To však vede při přerušení dodávky energie k lepšímu a postupnějším poklesu teplot, tedy naopak úspoře.“

Dále se dle závěru kapitoly G.2.6 *Shrnutí cíle 1* utvrzujeme s nutností umět s akumulací hmotných materiálů pracovat a vzít v potaz její výhody i nevýhody. Současně se objevuje značná dvojitost rostoucí objemové hmotnosti ρ . Je nutné při celkovém návrhu a práci vzít v potaz naprosto klíčové solární zisky vycházející z orientace.

G.4 Vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy na chování a nároky vnitřního prostředí

Kapitola plně odpovídá na body formulované v rámci cíle 3, který hodnotí vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy vůči světovým stranám z hlediska chování a nároků na vnitřní prostředí. Shrnutí je čerpáno z výsledků kapitol *F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám* a *F.5 Analýza vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám* zabývajících se analýzou změny orientace konstrukce popsané viz kapitola *F.4.7 Výsledky simulace a srovnání jednotlivých variant*. Hmotná konstrukce šikmého střešního pláště vychází ze skladby viz **Tabulka 11**.

G.4.1 Optimální orientace

Orientace až několikanásobně mění parametry nároků na větrání, chlazení, vytápění a zejména naprosto klíčových solárních zisků, které jsou rozhodující pro chování hmotných pláštů šikmých střech viz *G.2.6 Shrnutí cíle 1* a *G.3.6 Shrnutí cíle 2*.

Vhodná celoroční orientace objektu či konstrukce neexistuje a je nutné se rozhodnout pro jaké z ročních období či měsíců bude orientace teplosměnné konstrukce výhodná a pro jaké nikoliv. Lze rozlišit celkem 3 období a sice zimní, letní a přechodové. Pro období jsou typické následující azimuty a orientace.

- Zimní období – Azimut 180° - Jih, 225° - Jihozápad, 90° - Východ a 135° - Jihovýchod. Nejvhodnější je azimut 90° až 180°. V orientaci míříme na vysoké solární zisky během zimy a nízké nároky na stabilizaci vnitřního prostředí.
- Letní období – Azimut 270° - Západ, 315° - Severozápad, 0° - Sever a 45° - Severovýchod. Nejvhodnější je azimut 270° až 0°. V orientaci cílíme na nejnižší solární zisky během léta a nízké nároky na stabilizaci vnitřního prostředí.
- Přechodová období – Azimut 225° - Jihozápad, 270° - Západ, 90° - Východ a 135° - Jihovýchod. Lze jako vhodné doporučit azimuty určené pro zimní období.

Každá místnost, která disponuje hmotným pláštěm je otázkou individuálního přístupu a při návrhu je nutné uvažovat s jejím užíváním, solárními zisky, které místnost má, a poté počty, plochami a orientací teplosměnných konstrukcí. Zde uvedený závěr vycházející z **Tabulka 25** je typický pro místnosti definovatelné viz kapitola *F.4.3 Popis zkoumané zóny simulace*, avšak je velmi pravděpodobné, že jej lze uplatnit pro většinu místností a konstrukcí podobného typu.

G.4.2 Vliv orientace na teploty vnitřního prostředí

Orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy má nezanedbatelný vliv na teploty interiéru, který dosahuje v předmětné simulace až 4 % rozdílu, který v převodu na °C dosahuje i několika stupňů, což může být uživatelem nepocítěno. Rozdíl není zanedbatelný a zejména vypovídající, jelikož je k dosažení potřeba až několikanásobného vydání energie pro samotnou tepelnou stabilizaci těchto prostor.

V přeneseném smyslu to znamená, že pokud bude místnost užívána po celý sledovaný časový úsek, bude rozdíl v teplotách interiéru θ_{air} při různých orientacích objektu relativně neznatelný, avšak vyžádá si až několikanásobně více energie buď na chlazení, větrání, nebo vytápění viz **Tabulka 25**.

G.4.3 Vliv orientace na nároky tepelné stabilizace vnitřního prostředí

Orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střechy má naprosto klíčový vliv na nároky tepelné stabilizace vnitřního prostředí, které v závislosti na topografickém azimutu mohou buď ve svých požadovaných hodnotách několikanásobně klesnout, nebo naopak několikanásobně vzrůst v závislosti na výchozí orientaci. Nároky poté dosahují procentuálních hodnot ventilace až 140 % rozdílu, chlazení až 275 % rozdílu a vytápění až 16,5 % rozdílu. Pokud si uvědomíme, že se pro většinu stabilizujících úkonů jedná měsíčně o stovky kWh, stávají se rozdíly klíčové a finančně velmi důležité.

Analyzovaná data viz **Tabulka 25** dále ukazují, že jednotlivé varianty pro vybraná roční období mezi sebou mají značné rozdíly, zejména s ohledem na letní měsíce a otázku chlazení a větrání. Je nutné si uvědomit, že kromě přínosného období rozhoduje ve správném výběru také rozdíl v drobných natočeních, které ve finále mohou vést k jiné koncepci vnitřního prostředí z hlediska užívání a nároků.

G.4.4 Vliv orientace na solární zisky teplosměnného hmotného pláště

Solární zisky, jak je patrné z téměř všech doposud komentovaných výstupů, jsou rozhodujícím faktorem, který má vliv na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí, nároky na jeho udržení a také na tepelně-vlhkostní toky a akumulaci hmotného pláště šikmé střechy a všech souvisejících konstrukcí. U hmotných pláštů šikmých střech je díky přirozeně vyšším akumulačním vlastnostem jeho vliv několikanásobně důležitější a při návrhu je nutné s orientací, která rozhoduje o ziscích, pracovat. Samotný procentuální nárůst solárních zisků jednotlivých orientací u experimentální stavby se mění, v závislosti na výchozí orientaci, až o 212,3 %, což lze opět vztáhnout na měsíčně až několik set kWh, které rozhodují o chování vnitřního prostředí.

Je možné vyslovit, že solární zisky se budou lišit s ohledem nejen na orientaci, ale také na stát, lokalitu a nadmořskou výšku, ve které se objekt nachází. Závěry zde uvedené je však možné bez dalších problémů vztáhnout pro lokalitu, která disponuje stejnými okrajovými podmínkami, kterým je vystaven objekt EX_RD_2 a které jsou patrné viz kapitola *E.4 Experimentální měření a jeho doplnění simulací* a *F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám*.

Závěry pro jiný objekt, jinak koncipovaný provoz a zónu, nebo pro stejný objekt umístěný do naprosto jiného území s jinými okrajovými podmínkami, se budou s vysokou pravděpodobností procentuálně lišit. Rozhodující je zeměpisná šířka a z ní vycházející intenzita solárního záření.

G.4.5 Shrnutí

Dílčí závěry lze shrnout do následujícího textu, a sice „Orientace teplosměnné konstrukce a s ní spojené solární zisky rozhodují o teplotách vnitřního prostředí do řádů několika stupňů Celsia. Problémem jsou provozní nároky z hlediska ventilace, chlazení a vytápění, které se až několikanásobně mohou podle natočení měnit a je nutné je z hlediska energetické i finanční náročnosti na provoz zohlednit. Ačkoliv se jedná o obecné problémy všech teplosměnných konstrukcí, je celá problematika díky vyšším akumulačním vlastnostem hmotných pláštů šikmých střech daleko více umocněna. Z toho důvodu je nutné zohlednit orientaci již při samotném návrhu a vybrat optimálně jeden z přístupů kapitoly *G.4.1 Optimální orientace*.“

G.5 Vliv stavebních úprav hmotného pláště šikmé střechy na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí

Kapitola plně odpovídá na body formulované v rámci cíle 4, který určuje nejvhodnější způsoby ovlivnění tepelné stabilizace experimentálního objektu zakončeného hmotným pláštěm šikmé střechy za pomoci úpravy skladby tohoto zkoumaného hmotného střešního pláště. Shrnutí je čerpáno z výsledků kapitoly *F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu* a *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby* zabývajících se analýzou vlivu stavebních úprav vychází z porobetonové hmotné konstrukce šikmého střešního pláště viz **Tabulka II**, kdy jsou dílčí vrstvy upraveny či plně nahrazeny viz **Tabulka 26**.

G.5.1 Rozdělení stavebních úprav

Jednotlivé stavební úpravy, které se týkají různých vrstev předmětného hmotného pláště šikmé střechy, lze rozdělit dle vhodnosti jejich použití na úpravy vhodné pro zimní, letní a přechodové období. Současně se objevuje i poslední skupina, a sice úpravy, které vedou k všeobecnému vylepšení během celého sledovaného ročního období. Stavební úpravy různými způsoby ovlivňují teploty, tepelné a difúzní toky, akumulaci vlastností a jako takové jsou tyto informace, které jsou uvedené v kapitole *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby*, použity i při jejich optimálním rozdělení do jednotlivých časových období.

Aby bylo možné dále pracovat s rozsáhlou analýzou dat provedenou v kapitole *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby*, jsou jednotlivá období a pro ně výhodné stavební úpravy rozepsány v dalších kapitolách.

G.5.2 Stavební úpravy pro výhodné letní období

Výhodnou stavební úpravou hmotného pláště šikmé střechy pro letní období z hlediska teplot, difúzního toku, teplotního toku a akumulace jsou varianty 1 – změna tloušťky nosné konstrukce, 2a – izolant pěnosklo, 2b – izolant minerální vlna/vata, 3a – zvýšení VVV na tloušťku 60 mm, 3b – zvýšení VVV na tloušťku 100 mm, 6 – použití parotěsnicí vrstvy z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou. Další stavební úpravy nejsou vhodné.

Zbývající stavební úpravy viz **Tabulka 26** s sebou přináší problémy ohledně v případě 2c – izolant PIR nedostatečné akumulaci vlastností, které vedou k rychleji rostoucím teplotám o vyšších výkyvech. Varianty 4a + 4b – zateplení strany interiéru s sebou riziko nedostatečného odvodu tepla a postupný nárůst energie uvnitř materiálu. V případě 5a + 5b – umístění DHV na bednění nastává ovlivnění horní hrany tepelného izolantu, která se v nočních hodinách podílí markantním způsobem na odvodu tepla. Výsledky jsou, kromě analýzy provedené v kapitole *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby*, shrnutím průběhů teplot viz **Graf 81** až **Graf 90**, stejně jako shrnutí teplot θ_{s2} a tepelných toků q_{kl} viz **Tabulka 28** až **Tabulka 41**.

G.5.3 Stavební úpravy pro výhodné zimní období

Výhodnou stavební úpravou hmotného pláště šikmé střechy pro zimní období z hlediska teplot, difúzního toku, teplotního toku a akumulace jsou varianty 1 – změna tloušťky nosné konstrukce, 2a – izolant pěnosklo, 3a – zvýšení VVV na tloušťku 60 mm, 3b – zvýšení VVV na tloušťku 100 mm, 4a – zateplení ze strany interiéru pomocí minerální

vlny/vaty, 4b – zateplení ze strany interiéru pomocí EPS, 5a – umístění DHV na bednění z difúzně otevřených desek a 5b – umístění DHV na bednění z difúzně uzavřených desek. Další stavební úpravy nejsou vhodné.

Zbývající stavební úpravy s sebou přináší problémy ohledně v případě 2b – izolant minerální vlny/vaty ovlivnění horní hrany tepelného izolantu, která díky své prodyšnosti rychleji a markantně prochladá a odvádí tak teplo z izolantu. V případě varianty 2c – izolant PIR opět narážíme na nedostatečné akumulční vlastnosti, které vedou k nízkým teplotám a všeobecně rychlejšímu prochladání konstrukce. V případě poslední varianty 6 – použití parotěsnicí vrstvy z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou se setkáváme s problematickým ovlivněním difúzního toku a také reflexí zejména pozitivních solárních zisků, které vedou společně s rozdílným tepelně-vlhkostním chováním ke ztrátám a průměrně nepříznivým teplotám. Výsledky jsou, kromě analýzy provedené v kapitole *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby*, shrnutím průběhů teplot viz **Graf 81** až **Graf 90**, stejně jako shrnutí teplot θ_{s2} a tepelných toků q_{kl} viz **Tabulka 28** až **Tabulka 41**.

G.5.4 Stavební úpravy pro výhodné přechodové období

Výhodnou stavební úpravou hmotného pláště šikmé střechy pro přechodové období z hlediska teplot, difúzního toku, teplotního toku a akumulace jsou varianty 1 – změna tloušťky nosné konstrukce, 2a – izolant pěnosklo, 3a – zvýšení VVV na tloušťku 60 mm, 3b – zvýšení VVV na tloušťku 100 mm, 4a – zateplení ze strany interiéru pomocí minerální vlny/vaty, 4b – zateplení ze strany interiéru pomocí EPS, 5a – umístění DHV na bednění z difúzně otevřených desek a 5b – umístění DHV na bednění z difúzně uzavřených desek. Další stavební úpravy nejsou vhodné.

Zbývající stavební úpravy nejsou z hlediska různých důvodů zmíněných v *G.5.2 Stavební úpravy pro výhodné letní období* a *G.5.3 Stavební úpravy pro výhodné zimní období* vhodné a vedou buď k problematickým výsledkům, nebo velmi nejednoznačnému ovlivnění jednotlivých vlastností. Výsledky jsou, kromě analýzy provedené v kapitole *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby*, shrnutím průběhů teplot viz **Graf 81** až **Graf 90**, stejně jako shrnutí teplot θ_{s2} a tepelných toků q_{kl} viz **Tabulka 28** až **Tabulka 41**.

G.5.5 Stavební úpravy pro výhodné celoroční použití

Pro výhodné celoroční použití lze doporučit pouze čtyři následující varianty, kterými lze hmotnou skladbu šikmého střešního pláště vylepšit. První variantou je 1 – změna tloušťky nosné konstrukce, která vede k všeobecnému zlepšení teplot, tepelných i difúzních toků, zvýšení akumulčních schopností a mimo jiné také k vylepšení součinitele prostupu tepla U . Druhou variantou je použití 2a – pěnoskla, kdy tato varianta poskytuje značný nárůst akumulčních schopností samotné skladby a dále ovlivňuje difúzní tok, a tedy i v této analogii tok tepelný a jeho hustotu. Třetí a čtvrtou variantou jsou poté 3a + 3b – zvýšení VVV na tloušťku 60 mm a 100 mm, kdy obě varianty pozitivně ovlivňují ochlazování i ohřev horního povrchu tepelného izolantu pomocí změny proudění ve větrané vzduchové vrstvě. Další stavební úpravy jsou vhodné pouze pro některé z období.

Zbývající stavební úpravy nejsou z hlediska různých důvodů použitelné, nebo vedou k nechtěným a vedlejším efektům, které jsou nezanedbatelné pro správné a zejména výhodné fungování skladby. Výsledky jsou, kromě analýzy provedené v kapitole *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby*, shrnutím průběhů teplot viz **Graf 81** až **Graf 90**, stejně jako shrnutí teplot θ_{s2} a tepelných toků q_{kl} viz **Tabulka 28** až **Tabulka 41**.

G.5.6 Shrnutí

Téma stavebních úprav hmotného pláště šikmé střechy a nevhodnějšího způsobu jejich použití pro ovlivnění tepelné stabilizace je komplikovanou záležitostí, kdy dochází k ovlivnění jednotlivých mechanismů samotné skladby a zejména poté ovlivnění chování masivního akumulátoru v podobě hmotného pláště šikmé střechy, jak je patrné z kapitoly *F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu* a *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby* či pomocné **Tabulka 27**.

Stavební úpravy ovlivňují součinitele prostupu tepla U , teploty θ , hustotu tepelných toků a difúzní toky, akumulační vlastnosti a také fázové posuny teplotního kmitu ψ viz **Tabulka 26**. To vede k nutnosti porozumět nejen hmotným plášťům šikmých střech, ale také tomu, jak je tyto úpravy dokážou ovlivnit, jakou mírou a zejména kdy je tato míra pozitivní či negativní.

Tyto komplikované závěry lze vyjádřit následujícím shrnutím, a sice „**Stavební úpravy lze opětovně rozdělit z hlediska jejich použití na varianty pro letní, zimní a přechodová období. Současně se potýkáme také s úpravami, které svým působením dále umocňují, nebo vylepšují již tak komplexní mechanismus hmotného pláště šikmé střechy. Před návrhem skladby je nutné si položit otázku, co má konstrukce splňovat, současně jaké parametry chceme jako uživatelé vylepšit a dle toho postupovat v souladu se zde uvedenými výsledky.**“

H. SHRNU TÍ, DOPORU ČENÍ PRO PRA XI A MO ŽNOSTI DAL ŠÍHO VÝZKUMU

- ❖ **H.1** Tepelně-vlhkostní a akumuláční vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech
- ❖ **H.2** Vhodnost orientace objektu v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech
- ❖ **H.3** Vhodnost stavební úpravy v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech
- ❖ **H.4** Koncepce stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech
- ❖ **H.5** Možnosti dalšího výzkumu

H.1 Tepelně-vlhkostní a akumulční vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech

Předchozí kapitolou *G. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE* je možné vyvodit shrnutí úspěšného dosažení všech dílčích vymezených cílů, které byly v rámci kapitoly a práce stanoveny. Je možné vyslovit závěr, že tepelně-vlhkostní a akumulční vlastnosti těžkých konstrukcí šikmých střech mají jednoznačný pozitivní i negativní vliv na vnitřní prostředí z hlediska jeho teploty, vlhkosti, akumulované absorbované energie a také na nároky, které se s těmito vlastnostmi pojí. Jedná se jak fyzikálně, tak i tepelně-vlhkostně o naprosto jiné konstrukce, které vyžadují jiný přístup již při návrhu a naprosto jiný koncept vnitřního provozu.

H.1.1 Doporučení při použití hmotné konstrukce do šikmé střechy ve fázi návrhu

Při návrhu skladby, která disponuje hmotným materiálem v rámci nosné konstrukce je nutné, aby si případný projektant uvědomil následující výčet bodů a doporučení.

- Hmotné konstrukce šikmého střešního pláště ovlivňují teploty θ napříč celou skladbou až do řádů několika °C, stejně jako tepelné toky do řádů kWh. Potenciál je jak negativní, tak pozitivní.
- Hmotné konstrukce šikmého střešního pláště vedou při správném použití ke zlepšení a k velmi stabilnímu a příznivému zimnímu a přechodovému vnitřnímu teplotnímu prostředí, které má současně tendenci vykazovat vyšší teploty než lehké konstrukce.
- Hmotné konstrukce šikmého střešního pláště vedou při špatném použití ke zhoršení a k postupné akumulaci teplot vnitřního prostředí.
- Hmotná konstrukce šikmého střešního pláště, nezávisle na materiálu, disponuje několikanásobně vyšší akumulční schopností, která nemusí vnitřní prostředí chránit, zejména pokud je špatně koncipována a může naopak vést k větším nákladům na stabilizaci, nárůstu teplot a výskytu dalších problémů souvisejících s nepochopením.
- Hmotné materiály šikmého střešního pláště při své zabudování nemusí disponovat parotěsnicí vrstvou na rozhraní tepelného izolantu a nosné konstrukce. Difúzní tok probíhající skladbou je vhodnější nechat difundovat bez jakékoliv bariéry. Toto je dále podmíněno také difúzní propustností bednění a DHV a VVV.
- Difúzní tok proudící hmotnými materiály je přirozeně vysoký. Vyplatí se, pokud je rozhodující vlhkostní stav vnitřního prostředí, volit materiály s vyšší prodyšností.
- Platí, že čím hmotnější materiál šikmého střešního pláště je, tím více stabilní vnitřní prostředí z hlediska teplot dostaneme. Je nutné zohlednit akumulaci tepla v materiálu.
- Hmotné konstrukce šikmých střešních pláštů jsou daleko více závislé na solárních ziscích, který je v nich akumulován a díky fázovému posunu teplotních kmitů ψ redistribuován zpět do okolního prostředí. To je výhodné i problematické z hlediska nočních hodin.
- Při posouzení vnitřního prostředí na tepelnou stabilitu v zimním nebo letním prostředí není vhodné používat s ohledem na neodpovídající výsledky klasické metody dle normy ČSN 73 0540-2 [2]. Při výpočtu musí být v kritické dny zohledněna také předchozí naakumulovaná energie a jedinou vhodnou metodou, jak tohoto u hmotných konstrukcí šikmých střech dosáhnout je v souladu s ČSN 73 0540-4 [8] použití dynamické metody.

- Je vhodné vyčlenit v rámci norem samostatný typ konstrukce střešního pláště, který díky své objemové a zejména plošné hmotnosti ρ_s překračuje hodnotu $300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ a spadá tak do velmi těžkých konstrukcí. Konstrukce by nad rámec tepelně technických norem měly být dodatečně posouzeny nejen na tepelný tok a jeho hustotu, ale zejména na tok difúzní, který tvoří neodmyslitelnou část přenosu tepla v těchto velmi hmotných a těžkých konstrukcích.
- Při posouzení vnitřního prostředí, které disponuje hmotnou konstrukcí šikmého střešního pláště je nutné díky akumulárnímu potenciálu posoudit nejen předmětnou místnost, ale optimálně celý objekt dynamickou metodou.
- Stavební úpravy a orientace teplosměnné hmotné konstrukce střešního pláště za účelem maximalizace jejich potenciálu je předmětem samostatných kapitol s doporučením, která může být velmi přínosná pro architektonickou část již při návrhu nebo při řešení větších urbanistických celků.

H.1.2 Doporučení při použití hmotné konstrukce do šikmé střechy ve fázi užívání

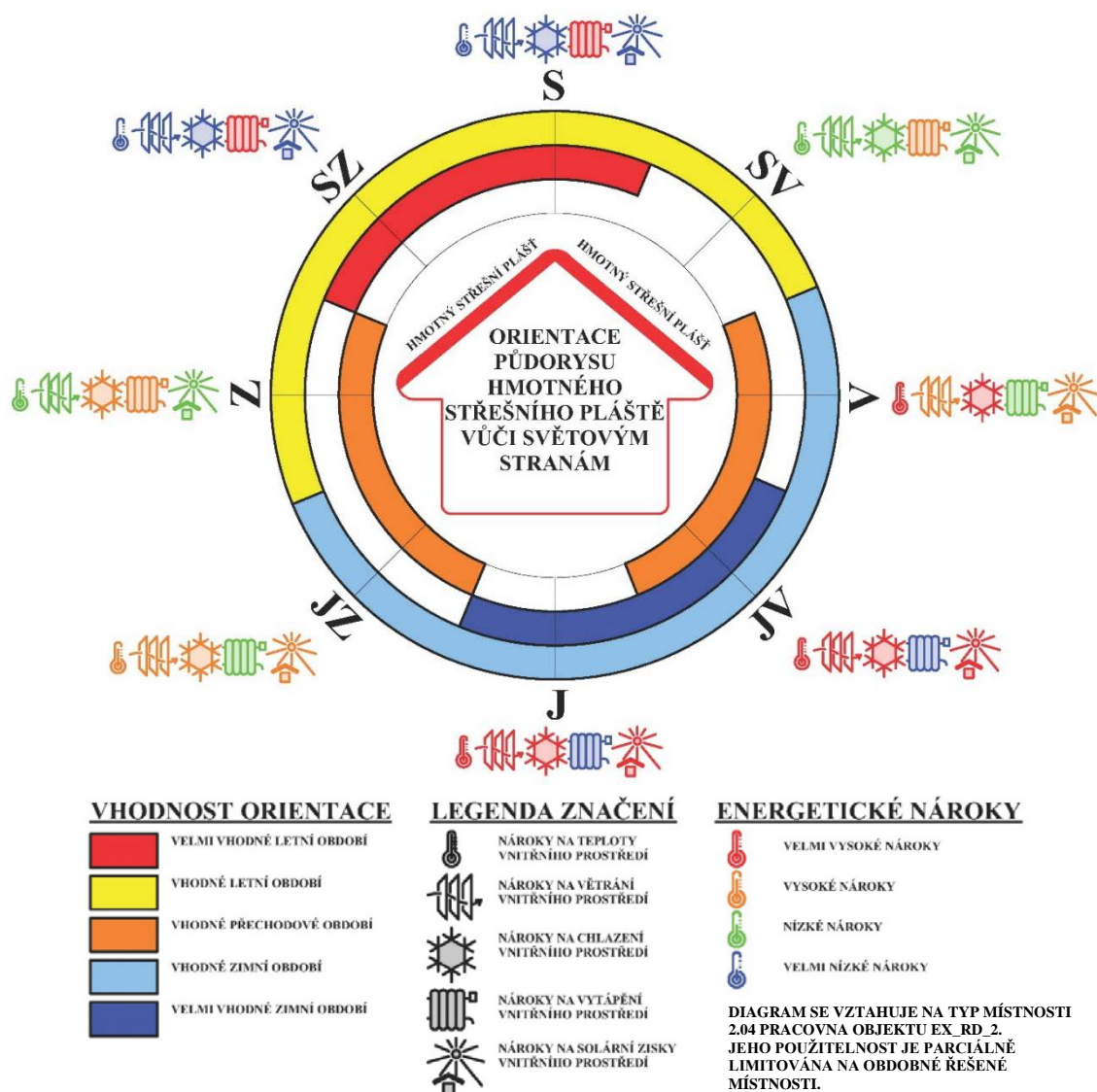
Při návrhu skladby, která disponuje hmotným materiálem v rámci nosné konstrukce je nutné, aby si případný uživatel uvědomil následující výčet bodů a doporučení.

- Hmotné konstrukce zastřešující podkrovní prostory je nutné využívat ve zcela jiném letním i zimním režimu než konstrukce lehkého typu.
- V létě je nárůst tepla v krátkém časovém úseku menší, což pro neznalého uživatele může znamenat signál pro nedbalé větrání či vpuštění tepla dovnitř během denních hodin. Tento krátký impulz je však postupně akumulován, často bez možnosti zpětného vydání. Současně tyto nechtěné a nežádoucí zisky rostou do vyšších hodnot. Je nutné ventilaci realizovat zejména během nočních hodin s daleko vyšší intenzitou.
- V zimě je nutné optimálně udržovat teplotu interiéru ve stálé hladině a vyvarovat se výpadkům vytápění, ztrátě tepla větráním či nadměrným poklesům tepla. Ačkoliv nám akumulární vlastnosti pomohou tyto deficity vyrovnat, může dojít zejména při delší přestávce k daleko vyšší ztrátě tepelné energie. Současně je díky přirozeně vyšší akumulaci postupně zahřátí relativně časově náročné.
- Přirozeně vyšší difúzní tok a vlhkost obsažená v materiálu, zejména u hmotnějších materiálů, může při nesprávné koncepci vnitřního prostředí, zejména nedostatečném větrání nebo problematickém prochládání či nedostatečném vytápění, vést velmi pravděpodobně k vlhkostním mapám, výkvětům, nebo jiným projevům biokoroze. Není to však projevem chyby konstrukce, ale nepochopení jiných potřeb vnitřního prostředí.
- Vzhledem k dalekosáhlému potenciaálnímu riziku při nevhodném použití hmotné konstrukce šikmého střešního pláště v závislosti na vnějších teplotách, solárních ziscích a k nim vázané výměny vzduchu vnitřního prostředí, je velmi vhodné vytvoření buď koncepce řízení tohoto prostředí nebo například softwarový program. Případné softwarové řešení by buď upozorňovalo uživatele na rozhodující momenty například ohledně přirozené ventilace, nebo by přímo umožňovalo otevření oken, spuštění topení či chlazení.

H.2 Vhodnost orientace objektu v analogii těžkých konstrukcí šikmých stře ch

V souvislosti se závěry kapitoly *F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám* a *F.5 Analýza vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám* ohledně orientace konstrukce hmotného pláště šikmé stře chy vůči světovým stranám je možné data analyzována v těchto kapitolách reprezentovat následujícím grafickým vyobrazením viz **Obr. 42**.

Pracovní diagram velmi zjednodušuje problematiku celého návrhu a důležitosti orientace hmotného pláště šikmé stře chy, která je více komentována a shrnuta kapitolou *G.4.1 Optimální orientace*. Je možné jej účinně a efektivně využít například ve fázi studie či architektonického návrhu objektu disponujícím obdobnou konstrukcí a dispozičním řešením shodným s EX_RD_2 tak, aby bylo možné se vyhnout již neodstranitelným, nebo nákladným a těžko řešitelným problémům ohledně energetické náročnosti stabilizace vnitřního prostředí. Současně může informace zde prezentovaná přinášet rozhodující element pro ucelené urbanistické celky, kdy bude možné se vyhnout stejné problematice a řešit ji s dostatečným předstihem.

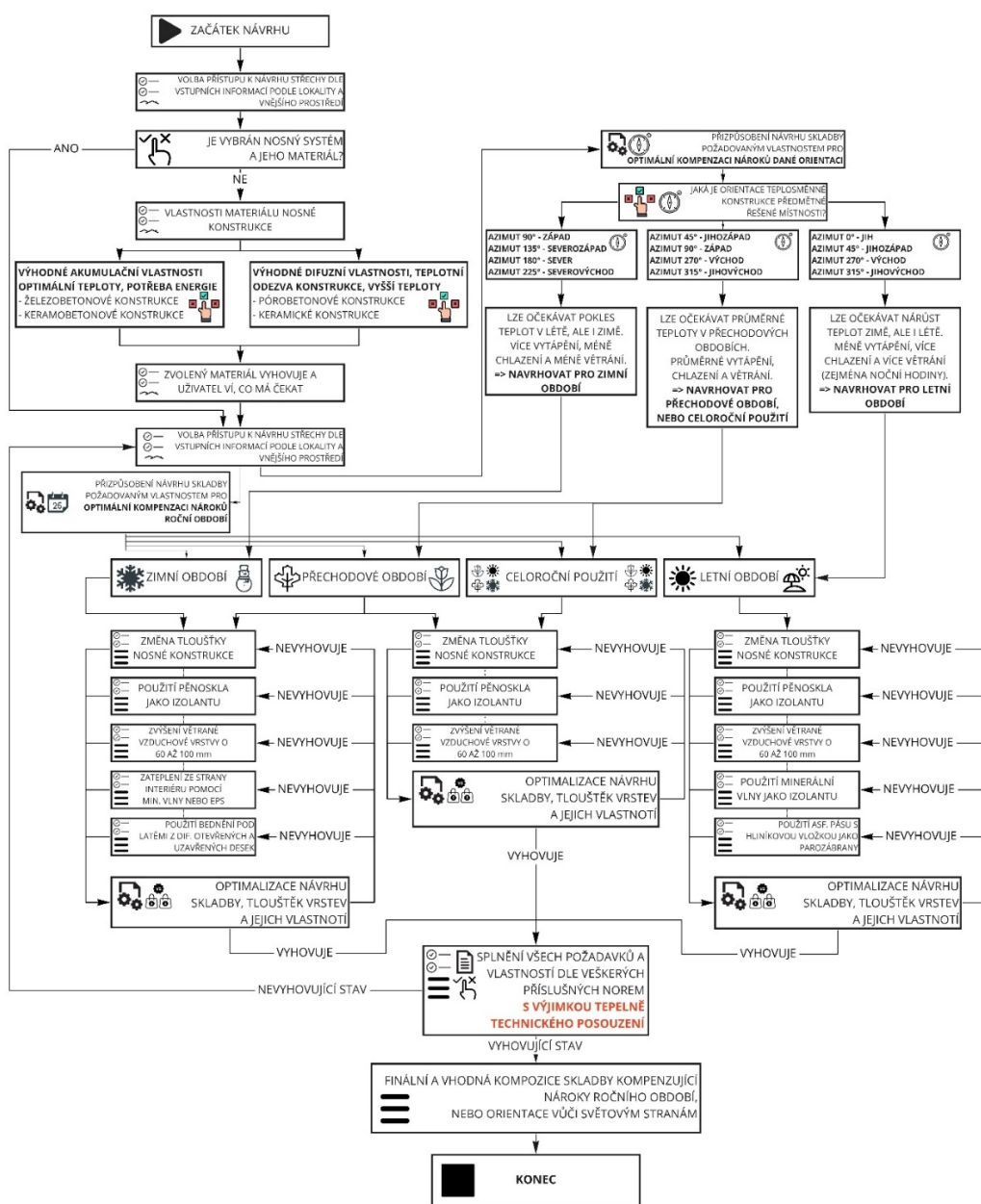


Obr. 42 Pracovní diagram vhodnosti orientace hmotného pláště šikmé stře chy vůči světovým stranám s ohledem na nároky vnitřního prostředí

Jak je uvedeno i výše, je vzhledem ke zjištění, že orientace půdorysu hmotného střešního pláště šikmé střechy má zcela zásadní vliv na energetické nároky celé stavby, a nejen místnosti touto konstrukcí zakončenou, je velmi vhodné toto vyšetřovat již v prvotní fázi plánování výstavby. To sice platí obecně pro všechny energeticky vysoce úsporné budovy a ostatní výstavbu všeobecně, avšak v případě staveb disponujících hmotným střešním pláštěm v nakloněné rovině je to ještě mnohem důležitější. Proto je stále naléhavější, aby ideálně již ve fázi urbanistického plánování dílčích i větších celků, pokud tomu jiné okolnosti nebrání, nebo nejpozději ve fázi prvotní architektonické studie, bylo k orientaci přihlíženo jako k jedné ze základních okrajových podmínek návrhu stavby.

H.3 Vhodnost stavebních úprav v analogii těžkých konstrukcí šikmých střeš

Pro pochopení závěrů kapitol G.4 *Vliv orientace teplosměnné konstrukce hmotného pláště šikmé střešy na chování a nároky vnitřního prostředí* a G.5 *Vliv stavebních úprav hmotného pláště šikmé střešy na tepelnou stabilitu vnitřního prostředí* byl vypracován diagram viz **Obr. 43**, který slouží při projekčním návrhu pro výběr optimální stavební úpravy pláště pro kompenzování nároků dané orientace, nebo kompenzování nároků vytvářených daným ročním obdobím. Optimální návrh skladby je nutno tepelně technicky posoudit viz diagram **Obr. 41**. Při nevyhovujícím tepelně technickém výsledku je nutné skladbu upravit a znovu posoudit.



Obr. 43 Pracovní diagram vhodných stavebních úprav hmotného pláště šikmé střešy pro optimální kompenzace nároků ročního období, nebo orientace konstrukce vůči světovým stranám

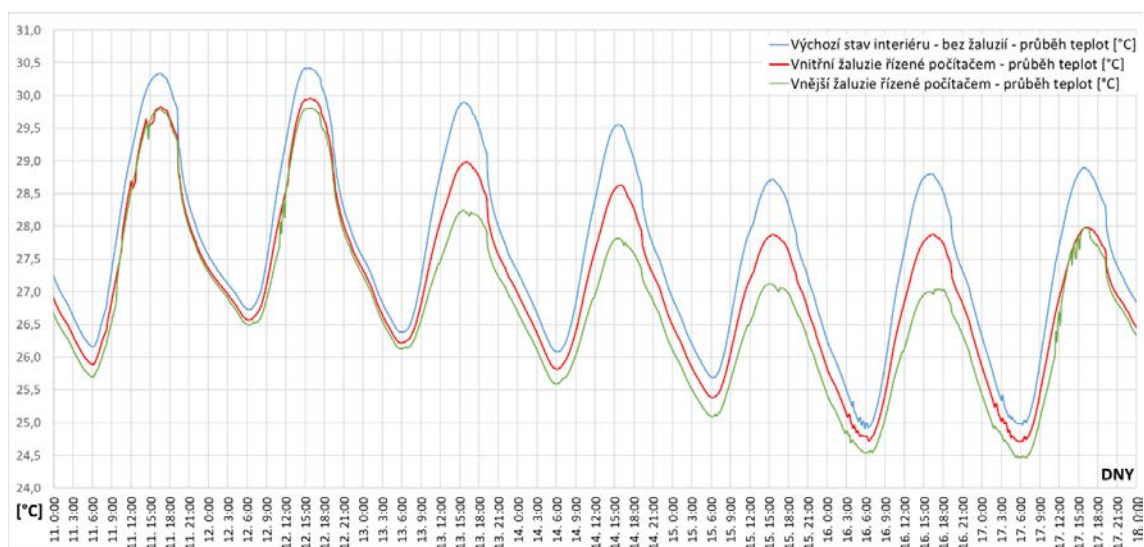
H.4 Koncepce stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech

Hmotné střešní pláště a podstřešní prostor je možné stabilizovat, mimo stavební úpravy, také pomocí v této disertační práci záměrně neřešené koncepce stínění vnitřních prostor, respektive stínění průsvitných teplosměnných konstrukcí, tedy oken. Koncepce nebyla záměrně řešena, protože nevychází z úpravy hmotného pláště šikmé střechy. Jelikož je pro letní období potenciálně nevhodné používat hmotné pláště šikmých střech bez jakékoliv koncepce užívání vnitřního provozu spočívající v předepsané intenzitě větrání, nebo poučení investora o chování samotného interiéru, je v souvislosti s doporučením pro stavební praxi vypracována tato kapitola.

Hmotné pláště šikmých střech orientované ostře na jižní strany jsou pro letní měsíce problematictější z hlediska akumulace teplot, avšak obrovským způsobem přínosné pro zimní a přechodové období. Je v nejvyšším zájmu uživatele se s takto orientovanými konstrukcemi naučit pracovat. V létě po většinou poučení uživatele nestačí a je nutné provést protiopatření.

Jednou z možností, jak zabránit nárůstu teplot bez vydání energie na chlazení je stínění. Za tímto účelem byla vypracována krátká komplexní simulace, která díky své idealizaci nebyla zařazena mezi cíle disertační práce. Idealizace vycházejí z nereálného stavu vnitřního prostředí experimentálního objektu, který je vybaven stínícími prvky, jiné koncepce užívání vnitřního prostředí, než byla zachycena a konzultována s uživateli a v neposlední řadě také vybavení systémem zodpovědným za optimální funkcionalitu stínění. Simulace je postavena na stejném modelu, jaký využívá kapitola *F.4 Simulace vlivu orientace konstrukce vůči světovým stranám*, který odpovídá reálnému natočení objektu a dosahuje vysoké přesnosti a s ní spojené vypovídající hodnoty. Není však možné finální stav díky změně vnitřní koncepce užívání více validovat.

V rámci simulace bylo řešeno vylepšení vnitřních prostor místnosti 2.04 Pracovna stíněním pomocí dvou typů žaluzií, které byly umístěny k oknům ze strany interiéru a exteriéru. Je předpokládáno řízení pohybu a natočení lamel počítačem na základě dopadu solárního paprsku na žaluzii. Intenzita solárního záření, na které stínící prvky reagují je nastavena na 120 W. Lamely reagují tak, že svou polohou vždy zachytí 100 % přímého slunečního svitu. Neznamená to však, že by došlo k plnému zatemnění předmětné místnosti. Jedná se pouze o přímý svit, nikoliv reflektance, nebo difuzi, která stínícím prvkem prochází dále. Průběh teplot je poté patrný viz **Graf 91**. Byly simulovány varianty vnitřního a vnějšího stínění pomocí žaluzií.



Graf 91 Průběh teplot interiéru θ_{ai} koncepce různého zastínění – 11.08 – 18.08 2020

V rámci chování uživatele byla oproti skutečnému stavu nastavena idealizace ve formě vyšší než normové hodnotě větrání během nočních hodin, aby bylo možno ukázat výhodu stínění a současně „vědomého uživatele“, viz následující kapitola.

Z výsledků simulace provedených k týdnu od 11.08.2020 do 18.08.2020, který byl vybrán pro své vysoké ustálené teploty exteriéru θ_{e1} a s nimi spojenými značnými solárními zisky $\chi_{mi}RGLB_{10}$ je patrných několik skutečností.

První je nesporná výhoda libovolného stínění, které zajišťuje pokles teplot interiéru, jež mají v létě prokazatelný potenciál dosahovat ve spojitosti s hmotnými konstrukcemi šikmých střešních pláštěů vyšších teplot. V závislosti na typu žaluzie se bavíme v případě vnitřního stínění o průměrném poklesu teploty interiéru θ_{ai} během denních hodin o hodnotu 0,925 °C. Pokud jde o vnější stínění, dosahujeme poklesu teplot θ_{ai} o 1,729 °C. Průběhy jsou v menších hodnotách perzistentní i při nočních hodinách. Je velmi pravděpodobné, že se vhodnou koncepcí stínění můžeme dostat při delším časovém období na daleko nižší teploty, než které zachycuje simulace.

Další skutečností je potenciál, který systém stínění přináší. Pokud bychom dokázali v čase pracovat optimálně se systémem stínění napříč celým objektem, můžeme s vysokým potenciálem a naprosto bez problémů, nebo bez neočekávaných a tepelnou stabilitu zhoršujících jevů, využívat hmotné pláště šikmých střeš i na ostře osluněné strany. Výhoda akumulace v zimním a přechodovém období by byla využita i v letních měsících, kdy díky eliminaci solárních zisků stíněním by hmotné pláště vedly k daleko stabilnějšímu prostředí, které by bylo možné dále stabilizovat nejlépe vnějšími žaluziemi pro velmi nízké, a tudíž příhodné denní teploty. Výhodnost je jasná.

Funkcionalita a účinnost řešení, které vylučuje lidský element a nechává nastavení stínění plně v rukou automatizace, přímo souvisí se systémem popsáním dále v kapitole *H.6.4 Softwarové řešení pro komplexní řízení vnitřního prostředí*.

Co není zmíněno a z **Graf 91** není zjevné je potenciálně velmi přínosné řešení v zimním a přechodovém období stejným systémem, kdy vnější i vnitřní žaluzie naopak brání v nočních hodinách, kdy již nejsou solární zisky, nadměrné ztráty tepla pronikající okenními otvory.

Pro optimální funkčnost stínění žaluziemi je pro letní měsíce, solárně a teplotně náročné kontinuální období výhodné, pokud vzniká součinnost celého objektu, kdy žaluzie okenních otvorů blokuji primárně dopadající solární paprsky během denních hodin, avšak v momentě, kdy již dopadu/zisku nejsou vystaveny, umožňují otevření a při vhodných teplotách exteriéru také větrání. To celé je dále umocněno optimalizací korigování větrání při vhodném poklesu vnějších teplot.

V přenesené analogii je pro optimální funkčnost stínění žaluziemi v zimním a přechodovém období přesný opak, tedy maximalizace vstřebání dopadajícího solárního záření během denních hodin, kdy jakýkoliv zisk bude vpuštěn skrze stínící prvky optimálně bez jakékoliv zábrany. V nočních hodinách je následně nutné využít stínících prvků jako přidané bariéry oproti ztrátě tepla. Lze očekávat úsporu energie a navýšení teploty v interiéru.

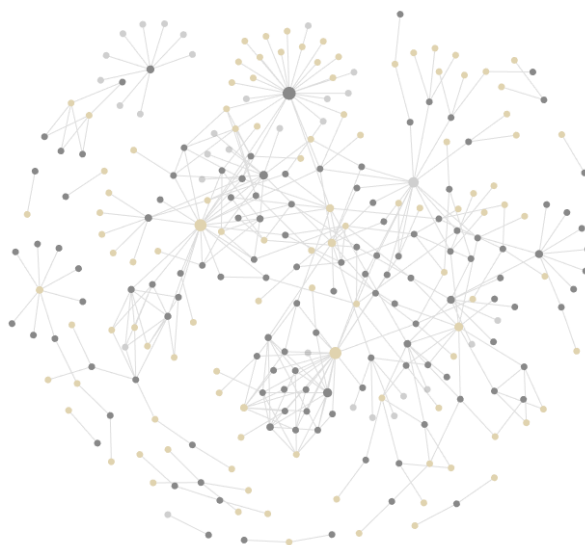
Potenciál stínění je zcela nezanedbatelný a velmi přínosný, jak je možné vidět z poklesu teplot. Současně je však vhodné tuto koncepci vypracovávat pro každé vnitřní prostředí individuálně a optimálně nenechávat lidský element náhodě a nahradit ho plně systémem, který vnitřní prostředí dokáže stíněním, větráním, vytápěním a chlazením řídit. Bez tohoto systému je ztracena značná část potenciálu. Více je nutné řešit v dalších možnostech výzkumu.

H.5 Vliv uživatele na vnitřní okrajové podmínky

Z dosažených závěrů, grafů a jejich hodnocení je zřejmé, že použití a výhodnost či nevýhodnost hmotných plášťů zakomponovaných do objektů záleží, kromě orientace, skladby a okrajových podmínek vnějšího prostředí, také velkou a možná až dominantní mírou na uživateli, jeho chápání funkcionality hmotného pláště a jeho přístupu k užívání vnitřních prostor. Zjištění bylo opakovaně zmíněno, shrnuto prvním cílem disertační práce viz kapitola *G.2.6 Shrnutí cíle 1* a také znovu prokázáno viz *H.4 Koncepte stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech*, kde je vidět na kolik lze pozitivně ovlivnit vnitřní prostory pouhým uvědoměným stíněním v kombinaci s větráním ve vhodnou denní dobu. Lze předpokládat i opačné působení a sice negativní ovlivnění vnitřních prostor, kdy uživatel vytváří a zejména kombinuje chyby.

Jak bylo zmíněno kapitolou *H.1.2 Doporučení při použití hmotné konstrukce do šikmé střechy ve fázi užívání*, je řada možností jak vnitřní prostředí a teploty může uživatel bezprostředně ovlivnit. Mezi tyto možnosti patří stínění, nezanedbatelné a naprosto klíčové větrání, intenzita větrání, doba větrání, způsob větrání, avšak také celá řada dalších věcí, např. vybavení, činnost vykonávaná v interiérech, příkony zařízení, osvětlení, množství nábytku, samotné množství osob v objektu/místnosti, doba jejich pobytu a mnoho dalších a často velmi značně idealizovaných hodnot, které obecně nelze jednoznačně definovat například normativními hodnotami.

Vše, co vstupuje obecně do simulace, však z drtivé většiny vychází buď z experimentálně zajištěných dat, nebo často nepřesných normových hodnot. I tyto hodnoty je však do značné míry možné ovlivnit i v rámci normových postupů a způsobu jejich zadání, nebo jsou často bez dialogu od skutečného uživatele konkrétního objektu odhadnuty. Ačkoliv je tedy možné simulovat vše, je nutné si položit otázku čeho chceme simulací dosáhnout a zda je poté možno ve skutečnosti s tímto řešením skutečně uvažovat a dodržet ho. Dostáváme se tak k následující vzájemně propletené matici vstupních dat, které vstupují do simulace viz **Obr. 44 Schématické zobrazení komplexnosti simulace stavu vnitřního prostředí**. Je tedy zřejmé, že kombinací okrajových podmínek se dostáváme k téměř až genetickému faktoru toho, jak lze postupovat dále.



Obr. 44 Schématické zobrazení komplexnosti simulace stavu vnitřního prostředí

Tato disertační práce a výsledky, jak bylo na začátku a dále opakovaně zmíněno, jsou validovány díky experimentu s běžným uživatelem, který se aktivně podílel na sestavení

podrobného modelu z hlediska aktivity a vybavení uvnitř objektu. Tento uživatel se nedopouštěl žádných zásadních pochybení v užívání objektu a uvědomoval si rozlišné chování hmotného pláště díky dřívějšímu informování.

Přesto je patrné viz **Graf 35** *Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 07.08. – 14.08. [32]*, že i mírným pochybením způsobeným velmi pravděpodobně nedostatečným větráním v nočních hodinách, nebo naopak nadměrným a neuvědomělým větráním v hodinách denních, nebo zátěží z vybavení vnitřních prostor či pouhým vařením a osobní hygienou, dochází v létě k nárůstu teplot. Stejně tak je patrné viz **Graf 36** *Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc duben [32]*, že při delší otopné přestávce objekt trvale ztrácí naakumulovanou energii, kterou je nutné po stejnou a často i delší dobu, kdy objekt prochládal, také dodávat nazpět.

Je důležité, pro plné využití benefitu hmotných konstrukcí, v dalším výzkumu podrobně definovat, jak by měl uživatel takto zastřešené prostory využívat, aby nedocházelo nejen ke vzniku, ale zejména často kritické kombinaci dalších uživatelských chyb. Současně je nutné zohlednit normy a hygienické limity například při výměně vzduchu, která je jednou z nejvíce podstatných faktorů při stabilizaci teplot. Ačkoliv se zdá úkol jako potenciálně snadný a lehce řešitelný, není možné pokrýt bez konkrétního záměru množství variabilních simulací. Při simulaci, která by měla být součástí každého takto zastřešeného objektu, pokud chceme optimalizovat využití materiálu a jeho vlastnosti, by mělo být definováno následující minimum.

- Jak budou jednotlivé místnosti využívány, s jakou intenzitou a s jakým vytížením osob.
- Jaké vybavení bude uživatel pro svůj objekt používat, kde bude toto zařízení umístěno a jakým příkonem bude disponovat.
- Jaké nášlapné povrchy, nábytek a jejich odrazivost budou ve vnitřním prostředí použity.
- Při jakých teplotách exteriéru je vhodné, nebo budou větrány vnitřní prostory.
- Při jakých teplotách exteriéru je nevhodné nebo nebudou větrány vnitřní prostory.
- Při jaké intenzitě slunečního záření je vhodné podniknout kroky k eliminaci akumulace teploty, nebo naopak kdy je výhodné energii dále akumulovat.
- S jakou intenzitou bude větrání realizováno.
- Po jakou dobu bude větrání realizováno a kdy je ve vztahu k denní době a stavu vnějšího prostředí doporučeno.
- Jaké povětrnostní vlivy mohou působit na exteriér, a tedy v přeneseném významu na interiér.
- Jak budou stíněny vnitřní prostory, jak bude probíhat ovládání stínících prvků a jak budou stínící prvky použity ve vztahu k denní době a stavu vnějšího prostředí.
- Kdy je možné jednotlivé body simulace kombinovat, za jakých podmínek a co lze při kombinaci očekávat.

Tento jednoduchý bodový seznam, který lze využít i jako příručku pro postup návrhu, samozřejmě nekončí a můžeme na něj navázat obrovský výčet věcí, které dále vstupují do simulace a které jsou často zanedbávány. Současně s tím je důležité myslet na kombinaci jednotlivých vnějších podnětů, která, jak bylo u těchto konstrukcí prokázáno, může kumulovat bez vědomí případného uživatele, a to sice jak pozitivně, tak bohužel i negativně. Pokud tedy na skutečnost této kombinace uživatelských chyb, ať už z pozice projektanta, který má za úkol optimalizovat protinávry a informovat uživatele, nebo z pozice uživatele, který není dostatečně informován, zapomeneme, lze očekávat s velmi vysokou pravděpodobností, že vnitřní prostředí může být v některých ročních obdobích „nepříznivé“. Tato myšlenka je dále rozvedena kapitolou *H.6.7 Optimalizace koncepce užívání vnitřních prostor*.

H.6 Možnosti dalšího výzkumu

Směry, kterými lze zde řešené vědeckovýzkumné téma rozšířit a které jsou přínosné při dalším používání hmotných pláštěů šikmých střech, je možné vystihnout v dalších kapitolách.

H.6.1 Rozšíření experimentálního měření a sestavení objektu za účelem validace simulací

Ačkoliv je možné s velmi vysokou pravděpodobností říct, že přesnosti dosažené v rámci srovnání reálného měření a jednotlivých simulací jsou dostatečné, lze očekávat, že reálné hodnoty teplot při různých stavebních úpravách, materiálových variantách a orientacích objektu se budou lišit. Divergence mezi simulací a realitou jsou očekávané vzhledem ke komplexnosti simulací a mechanismům ohledně vzájemného ovlivnění vnějšího a vnitřního prostředí, jimž teplosměnná konstrukce hmotného pláště šikmé střechy podléhá.

Dále je zmíněna nezanedbatelná idealizace samotných simulací. Idealizace má různé důvody, ke kterým mimo jiné patří podstatná výpočetní limitace, ať již z hlediska časového kroku, nebo z hlediska nemožnosti zadat proměnlivé vstupní parametry, mezi které patří například změna rychlosti proudění vzduchu v okolním prostředí a skladbě střechy samotné. Ačkoliv jsou softwary (ANSYS [136] ve svých nastavebních Fluent a Mechanical Heat Transfer), které toto oproti v této práci zvoleným programům (WUFI Pro [111], DesignBuilder [104], [115]) umí, neumožňují buď zohlednění vlhkosti, nebo je jejich časový horizont výpočtu velmi omezený do řádu hodin. Jsme tedy, z hlediska komplexní simulace, omezeni softwarem.

Za účelem překročení omezení, ověření simulací a zejména dosažení vyšší přesnosti výsledků je nutné sestavit opětovně rozsáhlé měření, které tentokrát musí být realizováno na samostatném full-scale experimentálním objektu, kde budeme moci plně monitorovat a ovlivňovat vnitřní prostředí, nejlépe s laboratorní přesností. Současně, což je možná nejdůležitější informace, se bude jednat o objekt, kde budeme moci vnitřní prostory rozdělit do několika samostatných místností, jejichž střešní plášť bude disponovat různými předem vybranými stavebními úpravami např. viz kapitola *F.6.1 Kompilace modelů a typy úprav skladby*. Vhodným postupem pro měření je také komparativní měření stejně koncipovaného a monitorovaného vnitřního prostředí, které by bylo zakončeno lehkou střešní konstrukcí. Díky takto koncipovanému experimentu by bylo možné nejen monitorovat veškeré stavební úpravy a jejich dopad na průběhy teplot vnitřního prostředí, teplot ve skladbě, tepelných a difúzních toků a energetickou náročnost na stabilizaci, ale také by bylo možné zjistit přesný rozdíl mezi lehkými a hmotnými konstrukcemi. Jedná se o velmi rozsáhlý, časově náročný a finančně nákladný směr, kterého je vhodné pro plné pochopení funkcionality a možností hmotných pláštěů šikmých střech dosáhnout.

H.6.2 Využití hmotného střešního pláště jako výměníku tepla

Střešní pláště ve své hmotné podobě jsou masivní akumulátory, které s rostoucí objemovou hmotností markantním způsobem navyšují svou kapacitu. Současně jsou vystaveny, pokud je skladba a orientace takto koncipována, vysokým solárním ziskům, které jsou v kombinaci s teplotou vnějšího i vnitřního prostředí dále energeticky podpořeny a dochází k nárůstu teplot. Kromě nutnosti stabilizace pomocí ventilace, přirozené či nucené, a chlazení se nabízí otázka využití tepelné a solární energie a využití hmotného střešního pláště ke zhotovení masivního výměníku tepla. Teoreticky by bylo možné vytvořit v podstatě aktivovanou konstrukci

[137], která by vedla jak k vyšší tepelné pohodě uživatelů, tak například k úspoře energie a financí.

Problémů, které by výzkum musel vyřešit je však několik. Prvně by bylo nutné vymyslet optimální pracovní postup zhotovení, jelikož tepelná aktivace je vztažena primárně na železobetonové a betonové konstrukce. Následně by bylo nutné vyřešit materiál potrubí, které by vedlo médium. Jako vhodné řešení se nabízí například integrování potrubí z PE-Xa, které jsou využívány pro masivní betonové stropy [137]. V návaznosti je nutné vyřešit optimální chladicí, případně topné médium, které by nevedlo k poškození konstrukce ani při výpadku dodávky energie a které by nevedlo, ani při poruše systému, k výraznému poškození konstrukce a které by současně bylo možné vyměnit a systém opětovně uvést do provozu. V neposlední řadě je nutné řešit otázku dilatace samotné hmotné konstrukce vlivem působení takového systému, která může vést k poškození celé konstrukce. Vyřešením výše uvedených problémů bychom dostali optimální systém, který by využíval v nejvyšší možné míře vlastností hmotných pláštů šikmých střech a vedl tak k velmi vhodnému vnitřnímu prostředí z hlediska teplot a úspoře energií vynaložených na jeho stabilizaci.

H.6.3 Stavební úprava hmotného pláště šikmé střechy pomocí PCM

PCM [75], [89] jsou odpovědí na problematickou akumulaci teplot ve vnitřním prostředí, kdy svou přeměnou umožňují absorbovat masivní množství energie před jejich vlastním zahřátím, jak bylo vysvětleno viz kapitola *D.1 Teoretická analýza problematiky*. Je otázkou, jak se tyto materiály budou chovat ve spojení s masivními akumulátory v podobě hmotných pláštů.

Dle kapitoly *F.6 Simulace stavebních úprav hmotné skladby experimentálního objektu* a *F.7 Analýza vlivu stavebních úprav hmotné skladby* má zateplení interiérů nespornou výhodu v zimních a přechodových obdobích. Současně je stavební úprava problematická v létě, kdy vede k uzamčení tepla uvnitř materiálu a k jeho nekontrolovatelnému hromadění, kterou je nutné řešit například koncepcí stínění viz kapitola *H.4 Koncepce stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech*. Odpovědí na tuto jinak velmi vhodnou stavební úpravu může být právě PCM. K potvrzení domněnky je však velmi pravděpodobně nutné provedení full-scale nebo semi-scale experimentu, optimálně v laboratorních podmínkách.

H.6.4 Softwarové řešení pro komplexní řízení vnitřního prostředí

Softwarové řešení, které bylo zmíněno kapitolou *H.1.2 Doporučení při použití hmotné konstrukce do šikmé střechy ve fázi užívání*, by bylo odpovědí na komplikované chování hmotného pláště šikmé střechy vůči vnitřnímu prostředí. S rostoucí komplikací technických řešení se nabízí posunutí celé problematiky na další úroveň a vytvoření komplexního obslužného softwarového řešení, které se ukázalo velmi přínosné v kapitole *H.4 Koncepce stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech*. Systém by měl za úkol několik věcí. Kromě řízení vnitřního prostředí by monitoroval pomocí čidel kompletně vnitřní prostory, teploty uvnitř konstrukcí a také vnější prostředí, ať již za pomoci další sady čidel, nebo za pomoci napojení na čtení dat z některé blízké hydrometeorologické stanice, čímž by došlo k eliminaci chyb v užívání.

Další výhodou systému je poté kalibrace samotného systému za pomoci těchto doposud nasbíraných dat, která by bylo možno analyzovat a předvídat tak v objektu některé jevy a vyhnout se například těm negativním ještě před jejich vznikem. Rozsáhlý monitoring by vedl ke komplexnímu a postupnému pochopení chování individuální skladby a současně by pomohl, například díky následnému sdílení dat, k daleko většímu pochopení chování vnitřního prostředí, a tudíž urychlení jakéhokoliv dalšího vývoje v oblasti hmotných pláštů šikmých střech. Ušetření

energetických ztrát, a naopak maximalizace zisků, tedy snížení finanční náročnosti takto vybaveného objektu je poté samozřejmostí.

H.6.5 Záření hmotných materiálů šikmých střech a míra ovlivnění jejich okolí

Akumulační schopnosti, které jsou v nadměrných mírách hromaděny uvnitř hmotných pláštů šikmých střech vyzařují jak v denních, tak nočních hodinách do svého okolí, jak je možné pozorovat z některých závěrů dílčích kapitol. Toto se však může při jejich větším využití stát, zejména v uzavřených urbanistických celcích, velkým problémem [138]. Vhodným opatřením v tomto směru tedy zjištění míry, kterou je okolí takto zastřešených objektů ovlivňováno a k čemu může toto potenciálně nebezpečné a nadměrné tepelné záření vést zejména ve spojitosti s prostředím a v přenesené souvislosti biotopem, ve kterém je objekt umístěn.

H.6.6 Optimalizace koncepce stínění vnitřních prostor a vývoj softwaru

Koncepce stínění je zcela klíčová k použití hmotných pláštů šikmých střech, které jsou ostře orientovány ke světovým stranám se značnými solárními zisky. Jak vyplynulo z kapitoly *H.4 Koncepce stínění v analogii těžkých konstrukcí šikmých střech*, přináší stínění žaluziemi, ať vnitřními či vnějšími, nesporné výhody, které vyústí ke snížení tepelné zátěže v letním období, které má jinak vysoký potenciál ve spojitosti s akumulací schopností se přehřívat. Je více než přínosné další směr budoucího vědeckého bádání zaměřit také tímto směrem. V rámci vědeckého výzkumu je přínosné pochopit a následně sestavit komplexní koncepci užívání stínění vnitřních prostor zakončených hmotným střešním pláštěm tak, aby bylo možné maximalizovat akumulaci zisky hmotných pláštů napříč celým rokem. Jako primární možnost výsledku tohoto bádání je systém pro monitoring, analýzu a modifikaci vnitřního prostředí viz kapitola *H.6.4 Softwarové řešení pro komplexní řízení vnitřního prostředí*, který pomocí čidel a stavu vnitřního prostředí dokáže situovat stínící prvky žaluzií a jejich lamel vhodně vůči dopadu solárního záření a ovlivní tak vhodně teploty.

H.6.7 Optimalizace koncepce užívání vnitřních prostor a vývoj softwaru

Koncepce užívání je u hmotných pláštů šikmých střech stejnou mírou důležitá a zcela klíčová, jako koncepce stínění, se kterou velkou mírou souvisí, avšak vykazuje daleko přísnější uživatelskou kázeň. Hmotné pláště se často setkávají s nepochopením právě díky nízké míře porozumění a nutnosti jiného přístupu k užívání vnitřních prostor. To vede ke vzniku kombinace negativních vlivů ústících k nevyhovujícím stavům vnitřního prostředí. Je problematické vlivy predikovat, simulovat a případná protiopatření vyžadovat bez součinnosti projekce a uživatele viz kapitola *H.5 Vliv uživatele na vnitřní okrajové podmínky*. Je nutné, aby při použití spolupracoval projektant i uživatel v daleko vyšší míře, zejména pokud se máme vyvarovat kritickým kombinacím nevhodného užívání, jako například nadměrné větrání během léta v denních hodinách, nebo následné nevhodné zastínění ve dne v kombinaci s nedodržením větrání v hodinách nočních. Tato spolupráce však vyžaduje vysokou znalost budoucího, nebo skutečného stavu pro korektnost individuální simulace viz **Obr. 44** *Schématické zobrazení komplexnosti simulace stavu vnitřního prostředí*. V rámci vědeckého výzkumu je přínosné pochopit a sestavit komplexní koncepci užívání vnitřních prostor zakončených hmotným střešním pláštěm tak, aby bylo možné maximalizovat akumulaci zisky hmotných pláštů napříč celým rokem. Výsledkem této optimalizace, zejména ve spojení s kapitolou *H.6.4 Softwarové řešení pro komplexní řízení*

vnitřního prostředí, je však systém pro řízení vnitřního prostředí, který nejenom bude umožňovat monitoring a analýzu vnitřního prostředí, ale současně který napomůže uživateli v pochopení toho, jak a kdy může podniknout určité kroky. Současně tento výzkumný směr přinese komplexní návod, kdy a jak lze tyto hmotné pláště používat.

Stále se však dostáváme k lidskému elementu, který není možné predikovat a zajistit. Je možné vyslovit dva závěry tohoto směru bádání, a sice že bez edukovaného uživatele je tento klíčový směr výzkumu slepou uličkou, nebo bude objekt v doposud velmi málo rozšířené míře řízen počítačem schopným kompenzovat nevhodný přístup. Budoucí vývoj je tedy možné rozdělit do dvou směrů.

Prvním směrem je jednoduchá příručka (alternativně velmi simplifikovaný software) jak pro uživatele, tak pro projektovou činnost viz *H.5 Vliv uživatele na vnitřní okrajové podmínky*, která bude zahrnovat nejčastější případy ze stavební praxe. Základní list pro budoucí řešení je již vytvořen a jeho využití je doporučeno. V tomto výstupu bude možno zvolit přibližné a idealizované aktuální prostorové řešení objektu, zvolit aktuální počet osob, vybrat velmi jednoduše aktuální okrajové podmínky, stejně jako další základní uživatelské nastavení a dozvědět se výsledek či řešení pro naši problematiku, nebo aktuální potřebu.

Druhým směrem je opakovaně zmíněný vývoj softwaru či programu viz *H.6.4 Softwarové řešení pro komplexní řízení vnitřního prostředí*, který je určen pro užívání těchto inteligentních a materiálově rozlišných budov. Po shrnutí všech bodů této podkapitoly, stejně jako závěrů předešlých kapitol je jasné, že tento směr je velmi dobrým budoucím výzkumným záměrem, který nejenom že v současnosti na dostupném trhu chybí, ale je zřejmá jeho vysoká míra potenciálu, kterou lze rozšířit o výsledky této práce.

I. ZÁVĚR

Předložená disertační práce se zabývá otázkou tepelně-vlhkostních a akumulčních vlastností těžkých konstrukcí šikmých střech. Na veškeré položené cíle byly nalezeny odpovědi a byly vytvořeny závěry pro odbornou praxi a širokou laickou veřejnost v oblasti návrhu a použití těchto konstrukcí.

Ve stavební praxi se konstrukce hmotných plášťů šikmých střech objevují stále častěji a je pravděpodobné, že trend bude z různých důvodů, ať už ve snaze dosáhnout tepelné stability vnitřního prostředí, zlepšení akustických vlastností, zdražujícímu se kvalitnímu stavebnímu řezivu, nebo i za účelem ochrany objektu vůči povětrnostním vlivům a extrémním klimatickým jevům a úkazům, dále stoupat.

V rámci disertační práce bylo prokázáno, že se k těmto konstrukcím musí přistupovat individuálně a naprosto odlišným způsobem, který zamezí chybám v jejich použití, které při zanedbání vedou k energeticky náročnějším a horším stavům vnitřního prostředí. Náležitá pozornost by měla být věnována nejen hmotné konstrukci šikmé střechy a materiálu, ze kterého je zhotovena, ale veškerých vrstev s ní související. Jejich vliv na celkové tepelně-vlhkostní a akumulční vlastnosti se projevuje nejen v kontextu celé skladby, ale také z hlediska dlouhodobého časového horizontu na samotném hmotném materiálu.

Při správném pochopení ve spojení s vhodnou orientací a adekvátní optimalizací skladby pomocí vhodných stavebních úprav vedou hmotné pláště šikmých střech k teplotně velmi stabilnímu vnitřnímu prostředí, které má potenciál vést ke snížení energetických ztrát objektu a velmi vhodné tepelné pohodě uživatelů napříč celým ročním obdobím.

J. SEZNAM ZDROJŮ

J.1 Seznam použitých podkladů

1. *Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepřevládání): ve znění změny M1 - Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018 a změny M2 - Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1999 ze dne 11. prosince 2018.* In: . Štrasburk: EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE, 2010, ročník 1, číslo 1.
2. *ČSN 73 0540-2 (730540) Tepelná ochrana budov.: Část 2: Funkční požadavky.* 10.2011. Praha: Centrum technické normalizace, 2011.
3. *ČSN 73 1901-1 (731901) Navrhování střech: Část 1: Základní ustanovení.* 11.2020. Praha: Centrum technické normalizace, 2020.
4. *ČSN 73 1901-2 (731901) Navrhování střech: Část 2: Střechy se skládanou střešní krytinou.* 11.2020. Praha: Centrum technické normalizace, 2020.
5. *ČSN 73 1901-3 (731901) Navrhování střech: Část 3: Střechy s povlakovými hydroizolacemi.* 11.2020. Praha: Centrum technické normalizace, 2020.
6. *ČSN 73 0540-1 (730540) Tepelná ochrana budov.: Část 1: Terminologie.* 07.2005. Praha: Centrum technické normalizace, 2005.
7. *ČSN 73 0540-3 (730540) Tepelná ochrana budov.: Část 3: Návrhové hodnoty veličin.* 12.2005. Praha: Centrum technické normalizace, 2005.
8. *ČSN 73 0540-4 (730540) Tepelná ochrana budov.: Část 4: Výpočtové metody.* 07.2005. Praha: Centrum technické normalizace, 2005.
9. *Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).* In: . Praha: Parlament České republiky, 2006.
10. *Passive House Institute: Superior energy efficiency in buildings.* [online]. 2015 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: http://www.passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm
11. *Centrum pasivního domu - Pasivnidomy.cz: Co je pasivní dům? - Pasivnidomy.cz.* [online]. 2006 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
12. SKRBK, Antonín. *Isolace pozemních staveb: A. Isolace proti vodě.* 2. Praha: Technicko-vědecké vydavatelství, 1952. OCLC 253119476.
13. *EARCH: Z historie užití betonu* [online]. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/z-historie-uziti-betonu>
14. VINAŘ, Jan. *Historické krovy II: Průzkumy a opravy.* 1. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1111-7.
15. *Přestavba pivovaru Lochkov na byty: Bydlení IQ* [online]. 2009 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://www.bydleni-iq.cz/architektura-a-design/bytove-domy/prestavba-pivovaru-lochkov-na-lofty/>
16. *Mixers Construction: YouTube* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/channel/UCG2B0V4LkpeZ5Fxr3XoiFIw>
17. *Concrete house built from remnants of an Alpine log cabin: Dezeen | architecture and design magazine* [online]. 09.2014n. 1. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2014/09/05/refugi-lieptgas-concrete-cabin-nickish-sano-walder-architects-swiss-alps/>
18. *Výhody hurdisek ocení i současní stavebníci* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2013 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/stropy/9687-vyhody-hurdisek-oceni-i-soucasni-stavebnici>
19. *Proč Porootherm strop: Stavební materiál pro váš dům | Cihly Porootherm, střešní tašky Tondach* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/rady-a-navody-ke-zdivu/proc-porootherm-strop.html>
20. *Stropní konstrukce HELUZ* [online]. 2008 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/stropy/5025-stropni-konstrukce-heluz>
21. *Střecha Ytong Komfort: Stavební materiál pro stavbu i rekonstrukce | Ytong.cz* [online]. Xella Group [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/strecha-ytong-komfort.php>
22. *ČSN 73 0802 (730802) Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty: Kompletní norma, změna Z1 (02.13), Z2 (07.15), Z3 (02.20), Z4 (10.20).* 06.2009. Praha: Centrum technické normalizace, 2009.

23. ČSN 73 0804 (730804) *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty: Kompletní norma, změna Z1 (02.13), Z2 (07.15), Z3 (02.20), Z4 (10.20)*. 03.2010. Praha: Centrum technické normalizace, 2010.
24. *Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov. [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
25. *LiteForm - Insulated Concrete Forms: ICFs* [online]. 2018 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <http://liteform.com/>
26. *Fortruss System - Innovative and Quality Products in Expanded Polystyrene: BeaverPlastic* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://beaverplastics.com/residential-construction/fortruss/>
27. *Amvic Insulated Concrete Forms (ICF): Amvic Building System* [online]. 2021 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.amvicsystem.com/products/icf/>
28. *STORM-PROOF ROOFING: The Insulating Concrete Forms Magazine* [online]. 2015 [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: <https://www.icfmag.com/2015/09/storm-proof-roofing-2/>
29. FOKIN, K. F. *Tepelná technika budov uzavřených částí budov*. 1. Gosstroizdat, 1953.
30. HALAHYJA, Martin. *Tepelná technika z hlediska stavebních konstrukcí*. 1. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1959.
31. Van der Waal's force. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-7-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Van_der_Waals_force
32. Archiv autora
33. ČSN EN ISO 13788 (730544) *Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků: Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody*. 07.2019. Praha: Centrum technické normalizace, 2019.
34. KÜNZEL, Hartwig M. *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*. Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart, 1994. Disertační práce. Lehrstuhl für Konstruktive Bauphysik der Universität Stuttgart.
35. *WUFI: Wärme Und Feuchte Instationär* [online]. Fraunhofer IBP, 2018 [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <https://wufi.de/en/>
36. *DELPHIN: Bauklimatik Dresden: Software für Bauphysik und Bauklimatik* [online]. The Institute for Building Climatology at Dresden University of Technology [cit. 2021-7-24]. Dostupné z: <http://bauklimatik-dresden.de/delphin/index.php?aLa=en>
37. *COMSOL: Software for Multiphysics Simulation* [online]. COMSOL Inc. All rights reserved, 2021 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://www.comsol.com/>
38. ŘEHÁNEK, Jaroslav. *Tepelná akumulace budov*. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT 2002, 2002. ISBN 80-86364-59-3.
39. *Akumulace tepla* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov. [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla>
40. DINCER, Ibrahim a Sadik DOST. A perspective on thermal energy storage systems for solar energy applications. *International Journal of Energy Research*. United Kingdom: John Wiley, 1996, 6(20), 547-557. ISSN 1099114X, 0363907X.
41. ZHOU, D., C. Y. ZHAO a Y. TIAN. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy*. 2012, (92), 593-605. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025>
42. SHARMA, A., V. V. TYAGI, C. R. CHEN a D. BUDDHI. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, 2(13), 318-345. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
43. *Akumulace tepelné energie - fyzikální principy* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2003 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>
44. BANTOVÁ, Sylva. *Tepelná technika budov - Modul 03: Neustálený teplotní stav*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Fakulta stavební, 2014.
45. *Setrvačnost vnitřní povrchové teploty obvodových konstrukcí* [online]. Stavebnictví3000.cz, 2021 [cit. 2021-7-25]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vnitri-povrchove-teploty-obvodovych-konstrukci>
46. *Vyhláška č. 194/2007 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na*

- vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům. In: . Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2007, ročník 1, číslo 1.
47. Zákon č. 258/2000 Sb.: Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: . Praha: Parlament České republiky, 2000, ročník 1, číslo 1.
48. AULICIEMS, Andris a Steven V. SZOKOLAY. *Thermal comfort*. 1. Brisbane, Qld: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland, 1997. ISBN 0867767294.
49. *Tepelně-vlhkostní mikroklima* [online]. WikiSkripta, 2018 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Tepeln%C4%9B-vlhkostn%C3%AD_mikroklima
50. *Klima České republiky | In-počasí: očasi - předpověď počasí, aktuální informace* [online]. In-počasí [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/archiv/klima.php>
51. TOLASZ, Radim. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. Praha: Český hydrometeorologický ústav – Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.
52. ČSN EN 12 831-1 *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu: Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. 10.2018. Praha: Centrum technické normalizace, 2018.
53. *Vstupní parametry pro návrh interního mikroklimatu* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2014 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/11927-vstupni-parametry-pro-navrh-interniho-mikroklimatu>
54. ČSN EN 521+AC (061455) *Specifikace pro spotřebiče spalující zkapalněné uhlovodíkové plyny: Přenosné spotřebiče využívající tlaku par zkapalněných uhlovodíkových plynů*. 04.2021. Praha: Centrum technické normalizace, 2021.
55. ČSN EN 15665 (127021) *Větrání budov: Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. 12.2009. Praha: Centrum technické normalizace, 2009.
56. Nařízení vlády č. 523/2002 Sb.: Nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. In: . Praha, 2002.
57. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: . Praha, 2007.
58. *Fázový posun teplotního kmitu: ASB-portal.cz | odborný portál | architektura, stavebnictví, byznys* [online]. ASB-portal.cz: Jaga Media, s.r.o. Všechna práva vyhrazena, 2018 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zatepleni/fazovy-posun-teplotniho-kmitu>
59. *Fázový posun teplotního kmitu* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2017 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepeln-izolace/16228-fazovy-posun-teplotniho-kmitu>
60. ASHRAE IWEC2: *Weather Files for International Locations* [online]. Moraga, CA 94556: White Box Technologies, 2008 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <http://ashrae.whiteboxtechnologies.com/>
61. *SLOPED CONCRETE ROOFS: The Insulating Concrete Forms Magazine* [online]. ICF Builder Magazine, 2008 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: <https://www.icfmag.com/2008/08/sloped-concrete-roofs/>
62. *A SYSTEM FOR BUILDING SLOPED CONCRETE ROOFS: Concrete Construction* [online]. 1999 [cit. 2021-7-26]. Dostupné z: https://www.concreteconstruction.net/products/general-construction-equipment/a-system-for-building-sloped-concrete-roofs_o
63. VALVERDE, Rene L., Anuca VALVERDE a Hector R. VALVERDE. *SLOPED CONCRETE ROOF SYSTEMS*. 1997. USA. 08/872,006. Uděleno 19.09.2000. Zapsáno 09.08.1997.
64. ČUPROVÁ, Danuše a Sylva KLÍMOVÁ. *Stínící technika*. Brno: ERA, 2006. Bydlíme. ISBN 80-736-6046-6.
65. *Green facades: Urban green-blue grids* [online]. Urban green-blue grids for sustainable and resilient cities: atelier GROENBLAUW, Amar Sjauw En Wa [cit. 2021-7-27]. Dostupné z: Green facades
66. HUNTER, Annie M., Nicholas S.G. WILLIAMS, John P. RAYNER, Lu AYE, Dominique HES a Stephen J. LIVESLEY. Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering: The Journal of Ecosystem Restoration*. 2014, 2014(63), 102-113. ISSN 0925-8574.
67. SANTAMOURIS, M. a D. ASIMAKOPOULOS. *Passive Cooling of Buildings*. 1. London: James & James (Science Publishers), 1996. ISBN 978-1-873936-47-4.
68. GIVONI, Baruch. *Passive Low Energy Cooling of Buildings*. 1. New York: John Wiley, 1994. ISBN 9780471284734.
69. BLONDEAU, P., M. SPÉRANDIO a F. ALLARD. Night ventilation for building cooling in summer. *Solar Energy: The Official Journal of the International Solar Energy Society*®. 1997, 61(5), 327-335. ISSN 0038-092X.

-
70. SHAVIV, Edna, Abraham YEZIORO a Issac G. CAPULETO. Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. *Renewable Energy: An International Journal*. 2001, 24(3-4), 445-452. ISSN 0960-1481.
 71. KLUBAL, Tomáš. *Integrace materiálů s fázovou změnou ve stavebních konstrukcích*. Brno, 2016. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Milan Ostrý.
 72. SHARMA, A., V. V. TYAGI, C. R. CHEN a D. BUDDHI. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009, 13(2), 318-345. ISSN 1364-0321.
 73. KHUDHAIR, A. M a M. M. FARID. A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials. *Energy Conversion and Management: An International Journal*. 2004, 45(2), 263-275. ISSN 0196-8904.
 74. OSTRÝ, Milan a Pavel CHARVÁT. Materials for Advanced Heat Storage in Buildings. *Procedia Engineering*. United Kingdom, 2013, 57, 837-843. ISSN 1877-7058.
 75. VOELKER, Conrad, Oliver KORNADT a Milan OSTRÝ. Temperature reduction due to the application of phase change materials. *Energy and Buildings: An international journal devoted to investigations of energy use and efficiency in buildings*. 2008, 40(5), 937-944. ISSN 0378-7788.
 76. SCHADE, Jutta, Sofia LIDELÖW a Joel LÖNNQVIST. The thermal performance of a green roof on a highly insulated building in a sub-arctic climate. *Energy and Buildings*. 2021, 241, 12. ISSN 0378-7788.
 77. SUSCA, T., S. R. GAFFIN a G. R. DELL'OSSO. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*. 2011, 159(8-9), 2119-2126. ISSN 0269-7491.
 78. KNAUS, Maria a Dagmar HAASE. Green roof effects on daytime heat in a prefabricated residential neighbourhood in Berlin, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020, 53, 1-13. ISSN 1618-8667.
 79. OLIVEIRA, Sandra, Henrique ANDRADE a Teresa VAZ. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*. 2011, 46(11), 2186-2194. ISSN 0360-1323.
 80. TYAGI, Vineet Veer a D. BUDDHI. PCM thermal storage in buildings: A state of art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007, 11(6), 1146-1166. ISSN 1364-0321.
 81. ZINZI, M. a S. AGNOLI. Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy and Buildings: An international journal devoted to investigations of energy use and efficiency in buildings*. 2012, 55, 66-76. ISSN 0378-7788.
 82. *Active Green Roofs* [online]. Climate CoLab, 2013 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.climatecolab.org/contests/2012/building-efficiency/c/proposal/1304142>
 83. *Zelené střechy: Zelené stavění.cz - trochu jiné stavění* [online]. Zelené stavění.cz [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.zelenestaveni.cz/sluzby/zelene-strechy/>
 84. SKJELDRUM, Petter Martin a Tore KVANDE. Moisture-resilient upgrading to blue-green roofs. *Energy Procedia*. 2017, 132, 417-422. ISSN 1876-6102.
 85. ASCIONE, Fabrizio. Energy conservation and renewable technologies for buildings to face the impact of the climate change and minimize the use of cooling. *Solar Energy: The Official Journal of the International Solar Energy Society®*. 2017, 154, 34-100. ISSN 0038-092X.
 86. *Innovative Blue Roof/Green Roof Design Wins DEP Grant: Community-Based Green Infrastructure Program Projects Selected for Innovative Approach to Managing Stormwater Runoff* [online]. Hazen and Sawyer, 2011 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.hazenandsawyer.com/news/innovative-blue-roof-green-roof-design-wins-dep-grant/>
 87. *PCM ve stavebnictví Díl 1: Základní charakteristiky PCM* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2011 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7360-pcm-ve-stavebnictvi-dil-1-zakladni-charakteristiky-pcm>
 88. HAWES, D. W., D. BANU a D. FELDMAN. Latent heat storage in concrete. *Solar Energy Materials*. 1989, 19(3-5), 335-348. ISSN 0165-1633.
 89. *PCM ve stavebnictví Díl 3: Laboratorní ověření vlastností PCM* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2011 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7557-pcm-ve-stavebnictvi-dil-3-laboratorni-overeni-vlastnosti-pcm>
 90. GUICHARD, Stéphane, Frédéric MIRANVILLE, Dimitri BIGOT, Bruno MALET-DAMOUR a Harry BOYER. Experimental investigation on a complex roof incorporating phase-change
-

- material. *Energy and Buildings: An international journal devoted to investigations of energy use and efficiency in buildings*. 2015, 108, 36-43. ISSN 0378-7788.
91. HNILICA, Ondřej, Stefan BICHLMAIR a Josef PLÁŠEK. Indoor Climate in Jesuit Church of Holy Name of Jesus in Telc. *E3S Web of Conferences*. 2019, 111. ISSN 25550403.
 92. SILVA, H. E. a F. M. A. HENRIQUES. Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process. *Energy and Buildings: An international journal devoted to investigations of energy use and efficiency in buildings*. 2015, 107, 26-36. ISSN 0378-7788.
 93. COELHO, G. B. A., H. E. SILVA a F. M. A. HENRIQUES. Calibrated hygrothermal simulation models for historical buildings. *Building and Environment: The International Journal of Building Science and its Applications*. 2018, 142, 439-450. ISSN 0360-1323.
 94. SILVA, H. E. a F. M. A. HENRIQUES. Hygrothermal analysis of historic buildings: Statistical methodologies and their applicability in temperate climates. *Structural Survey*. 2016, 34(1), 12-23. ISSN 0263-080X.
 95. NAPP, Margus, Targo KALAMEES, Teet TARK a Endrik ARUMÄGI. Integrated Design of Museum's Indoor Climate in Medieval Episcopal Castle of Haapsalu. *Energy Procedia*. 2016, 96, 592-600. ISSN 18766102. Dostupné z: doi:10.1016/j.egypro.2016.09.105
 96. *Zelené a modré střechy jako adaptační opatření v městské zástavbě z pohledu hospodaření se srážkovou vodou* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2020 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/20393-zelene-a-modre-strechy-jako-adaptacni-opatreni-v-mestske-zastavbe-z-pohledu-hospodareni-se-srazkovou-vodou>
 97. RODRIGUES, Eugénio, Marco S. FERNANDES, Adélio Rodriguez GASPAS, Álvaro GOMES a José J. COSTA. Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass, *Applied Energy*. *Applied Energy*. 2019, 252, 1-15. ISSN 0306-2619.
 98. OROSA, José A. a Armando C. OLIVEIRA. A field study on building inertia and its effects on indoor thermal environment. *Renewable Energy*. 2012, 37(1), 89-86. ISSN 0960-1481.
 99. RODRIGUES, Eugénio a Marco S. FERNANDES. Overheating risk in Mediterranean residential buildings: Comparison of current and future climate scenarios. *Applied Energy*. 2020, 256, 1-12. ISSN 0306-2619.
 100. SHARIFI, Sormeh, Wasim SAMAN a Alemu ALEMU. Identification of overheating in the top floors of energy-efficient multilevel dwellings. *Energy and Buildings*. 2019, 204, 1-18. ISSN 0378-7788.
 101. *Evolution of global mean surface temperature (GMST) over the period of instrumental observations* [online]. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change, 2020 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-1/1-2/1-2-1/1-2-1-1/figure-1-2/>
 102. *Meteorologická stanice ČHMÚ* [online]. Portál ČHMÚ : Home [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html
 103. *BSim — Kort om BSim* [online]. BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: Dostupné z: <https://sbi.dk/bsim/Pages/Kort-om-BSim.aspx>
 104. *DesignBuilder Software* [online]. DesignBuilder Software Ltd - Home [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/>
 105. *EnergyPlus* [online]. [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://energyplus.net/>
 106. *IES Virtual Environment: The Leading Integrated Suite for Accurate Whole Building Performance Simulation* [online]. Integrated Environmental Solutions | IES [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>
 107. *WUFI® Plus* [online]. WUFI (en) [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://wufi.de/en/software/wufi-plus/>
 108. *TRNSYS: Transient System Simulation Tool* [online]. 2019 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: Dostupné z: <http://www.trnsys.com/>
 109. YANG, Jun, Hao FU a Menghao QUIN. Evaluation of Different Thermal Models in EnergyPlus for Calculating Moisture Effects on Building Energy Consumption in Different Climate Conditions. *Procedia Engineering*. 2015, 121, 1635-1641. ISSN 1877-7058.
 110. WASILOWSKY, Holly A. a Christoph F. REINHART. Modeling an Existing Building in DesignBuilder/EnergyPlus: Custom vs. Default Inputs. *Proceedings of (Building Simulation) the International Building Performance Simulation Association International Conference: International IBPSA Conference*. 2009, , 1252-1259.
 111. *WUFI Pro* [online]. WUFI.cz | WUFI Software [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: http://www.wufi.cz/wufi_pro/
 112. *Fraunhofer IBP: Auf Wissen bauen - Fraunhofer IBP* [online]. [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://www.ibp.fraunhofer.de/>

113. ČSN EN 15026 (730322): *Hodnocení šíření vlhkosti stavebními dílci pomocí numerické simulace*. 11/2007. Praha: Centrum technické normalizace, 2007.
114. *Benchmark test of EN 15026* [online]. WUFI (en), 2021 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://wufi.de/en/2015/04/09/benchmark-test-of-en-15026/>
115. *Simulace: DesignBuilder - software pro komplexní dynamickou simulaci budov* [online]. [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://designbuilder.cz/designbuilder/simulace-22>
116. LI, Xiang Qian, Youming CHEN, J. D. SPITLER a D. FISHER. Applicability of calculation methods for conduction transfer function of building constructions. *International Journal of Thermal Sciences*. 2009, 48(7), 1441-1451. ISSN 1290-0729.
117. *Corrections to the August-Roche-Magnus equation in pws FWI* [online]. De Wilgen - Wagenborgen (NL) - CumulusUtils, 2019 [cit. 2021-7-28]. Dostupné z: <https://meteo-wagenborgen.nl/wp/2019/09/26/corrections-to-the-august-roche-magnus-equation-in-pwsfwi/>
118. SONNTAG, D. Important new values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the ITS-90, and psychrometer formulae. *Zeitschrift für Meteorologie*. Germany, 1990, 40(5), 340-344. ISSN 0084-5361.
119. SONNTAG, D. Fortschritte in der Hygrometrie. *Meteorologische Zeitschrift*. 1994, 3(2), 51-66. ISSN 0941-2948.
120. PILNÝ, Ondřej a Lubor KALOUSEK. DESIGN ASSESSMENT OF PITCHED ROOFS WITH HEAVY STRUCTURE USING THE CTF METHOD. *Proceedings of the enviBUILD 2019*. Sciendo, 2020, 2020-12-31, , 128-133. ISBN 9788395669699.
121. *Podnebí Pohořelice: Meteoblue* [online]. [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodelled/poho%C5%99elice_%C4%8Cesko_3067953
122. *Portál ČHMÚ : Historická data: Územní teploty* [online]. Portál ČHMÚ [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
123. *Handling of typical constructions in WUFI: WUFI Tutorial 2014* [online]. Fraunhofer IBP, 2014 [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: https://wufi.de/en/wp-content/uploads/sites/11/2014/09/Wufi1D_Handling_of_typical_constructions.pdf
124. ČSN EN ISO 6946 (730558) *Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody*. 10/2020. Praha: Centrum technické normalizace, 2020.
125. *DIN 4108-7:2011-01 Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 7: Air tightness of buildings - Requirements, recommendations and examples for planning and performance*. 1/2011. Berlin-Tiergarten: German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2011.
126. *DIN 4108-11:2018-11 Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 11: Minimum requirements to the durability of bond strength with adhesive tapes and adhesive masses for the establishment of airtight layers*. 1. Berlin-Tiergarten: German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2018.
127. *Časy východu a západu slunce: Předpověď počasí a meteoradar* [online]. Meteogram.cz [cit. 2021-7-29]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>
128. PILNÝ, Ondřej a Lubor KALOUSEK. Thermal Properties and Overheating of Ventilated Air Cavities Under Pitched Roof Coverings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 12th International Scientific Conference on Building Defects (Building Defects 2020) 26th-27th November 2020, České Budějovice, Czech Republic*. 2021, 1066, 1-7. ISSN 1757-899X.
129. *PVG Tools: Photovoltaic Geographical Information System Interactive tools* [online]. EU Science Hub: European Commission, 2019 [cit. 2021-7-31]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
130. *Lunds tekniska högskola LTH: Faculty of Engineering* [online]. Lund University [cit. 2021-7-31]. Dostupné z: <https://www.lth.se/>
131. *Add new hourly weather data: DesignBuilder Software Ltd - Home* [online]. [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/Add_new_hourly_weather_data.ht
132. *Vyhláška č. 268/2009 Sb.: Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. In: . Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009, ročník 3.
133. *Vyhláška č. 20/2012 Sb.: Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*. In: . Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2012.
134. *Nové navrhování tříd těsnosti podstřešních membrán* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2016 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-proti-vode-a-radonu/14840-nove-navrhovani-trid-tesnosti-podstresnich-membran>

135. *Zákon zachování energie: MEF. Fyzika* [online]. 2006 [cit. 2021-8-5]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/50-zakon-zachovani-energie>
136. ANSYS: *Engineering Simulation Software* [online]. [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/>
137. *Systémy REHAU pro vytápění / chlazení nosných betonových konstrukcí (BKT) - tipy pro projektanty TZB* [online]. TZB-info - Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov., 2008 [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/4579-systemy-rehau-pro-vytapeni-chlazení-nosnych-betonovych-konstrukci-bkt-tipy-pro-projektanty-tzb>
138. SIMA, Jiri, Ondrej SIKULA, Katarina KOSUTOVA a Josef PLASEK. Theoretical Evaluation of Night Sky Cooling in the Czech Republic. *Energy Procedia*. 2014, 48, 645-653. ISSN 18766102.

J.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Disaster-resistant konstrukce šikmé hmotné střechy [28]	20
Obr. 2 Mechanismus vzniku kapilární kondenzace [32]	31
Obr. 3 Schéma principu teplotního útlumu a kmitání teploty [44]	41
Obr. 4, 5 Teplota vzduchu a sluneční svit na území České republiky [50], [51]	43
Obr. 6 Zhotovení zelených střech na šikmých střešních rovinách [83]	54
Obr. 7 Zhotovení modrých střech [86]	55
Obr. 8 Měření sakrálních staveb [92]	56
Obr. 9 Sledovaný nárůst průměrných ročních teplot [101]	58
Obr. 10 Fotografie experimentálního objektu EX_RD_1 [32]	61
Obr. 11 Fotografie experimentálního objektu EX_RD_2 [32]	62
Obr. 12 Schéma zkoumané skladby šikmé střechy objektu EX_RD_1 a EX_RD_2 [32]	62
Obr. 13 Fotografie měřicí sestavy AHLBORN AS01 [32]	63
Obr. 14 Fotografie měřicích sestav CT01 a CT02 [32]	64
Obr. 15 Čidlo Sensirion SHT31 Smart Gadget včetně obalu [32]	64
Obr. 16 Umístění meteorologické stanice B2POHO01 vůči objektu EX_RD_2 [102]	65
Obr. 17 Umístění dataloggerů a místa měření v objektu EX_RD_2 [32]	66
Obr. 18 Provedení místa jadrového vrtu pro instalaci čidel [32]	66
Obr. 19 Provedení sondy skrze tepelný izolant, montáž čidel a zapravení [32]	67
Obr. 20 Umístění termočlánků na rozhraní tepelný izolant/DHV a do interiéru [32]	67
Obr. 21 Umístění termočlánku na DHV a tepelně-vlhkostního čidla do VVV [32]	68
Obr. 22 Umístění termočlánku na spodní a horní stranu krytiny [32]	68
Obr. 23 Zakrytí termočlánku na horním povrchu krytiny následující řadou tašek+sběr dat [32]	69
Obr. 24 Inicializace měření a svázání drátů čidel vedoucích k místu měření [32]	69
Obr. 25 Schématický obrázek polohy a finální podoby experimentální měřicí soustavy [32]	70
Obr. 26 Prostředí programu WUFI Pro 6.5 – zadávání [32]	73
Obr. 27 Prostředí programu WUFI Pro – výsledky simulace [32]	74
Obr. 28 Prostředí programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]	75
Obr. 29 Výsledný průběh teplot programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]	76
Obr. 30 Objekt EX_RD_1 vymodelovaný v programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]	81
Obr. 31 Místnost simulace 1.03+1.08 Obývací pokoj + kuchyně – půdorys 1.NP [32]	82
Obr. 32 Místnost simulace 1.03+1.08 Obývací pokoj + kuchyně – Řez A-A' [32]	82
Obr. 33 Zóny simulace – idealizované zobrazení zóny ve 2.NP + 1.NP před jejím spojením [32]	83
Obr. 34 Vnější okrajové podmínky [32]	85
Obr. 35 Objekt EX_RD_2 vymodelovaný v programu DesignBuilder – sestavení simulace [32]	154
Obr. 36 Objekt EX_RD_2 – Schéma provozů a místností 1.NP [32]	154
Obr. 37 Objekt EX_RD_2 – Schéma provozů a místností 2.NP [32]	155
Obr. 38 Objekt EX_RD_2 – Schéma řešení půdního a podstřešního prostoru [32]	155
Obr. 39 Objekt EX_RD_2 – Půdorys a řez místností 2.04 Pracovna [32]	156
Obr. 40 Objekt EX_RD_2 – Modelová geometrie místnosti 2.04 Pracovna [32]	156
Obr. 41 Pracovní diagram návrhu lehkých a hmotných pláště šikmých střech od architektonického návrhu po tepelně technické, akumulární a vlhkostní posouzení včetně optimalizace	218
Obr. 42 Pracovní diagram vhodnosti orientace hmotného pláště šikmé střechy vůči světovým stranám s ohledem na nároky vnitřního prostředí	219

Obr. 43 Pracovní diagram vhodných stavebních úprav hmotného pláště šikmé střechy pro optimální kompenzace nároků ročního období, nebo orientace konstrukce vůči světovým stranám	221
Obr. 44 Schématické zobrazení komplexnosti simulace stavu vnitřního prostředí	224

J.3 Seznam grafů

Graf 1 Proces sorpce vodní páry u pórovitého materiálu s popisem stádií [32]	32
Graf 2 Výsledky simulace nízkých solárních zisků vyjádřeny grafem [32].....	86
Graf 3 Výsledky simulace vysokých solárních zisků vyjádřeny grafem [32]	86
Graf 4, 5 Průměrné teploty, srážky a sluneční záření v předmětné oblasti [121]	90
Graf 6, 7 Denní teploty a rychlost větru během jednotlivých měsíců [121]	90
Graf 8 Směr a rychlost větru předmětné lokality vyjádřený větrnou růžicí [121]	91
Graf 9 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc leden [32].....	91
Graf 10 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc červenec [32]	92
Graf 11 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc srpen [32]	92
Graf 12 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc duben [32]	93
Graf 13 Průběh teploty, relativní vlhkosti vzduchu a globálního záření – měsíc listopad [32]	93
Graf 14 Izolinie teploty a vlhkosti ve VVV [32].....	95
Graf 15 Izolinie teploty a vlhkosti na DHV [32]	96
Graf 16 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a vzduchové mezery [32]	96
Graf 17 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,071 m [32].....	96
Graf 18 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,143 m [32].....	97
Graf 19 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,158 m [32].....	97
Graf 20 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,229 m [32].....	97
Graf 21 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce izolantu 0,271 m [32].....	98
Graf 22 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32].....	98
Graf 23 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,054 m [32]	98
Graf 24 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]	99
Graf 25 Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,156 m [32].....	99
Graf 26 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32].....	99
Graf 27 Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní omítky a vnitřního prostředí [32]	100
Graf 28 Množství vody v jednotlivých vrstvách [32]	100
Graf 29 Celkové množství vody v konstrukci skladby [32]	100
Graf 30 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc leden [32].....	101
Graf 31 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 11.01. – 18.01. [32].....	101
Graf 32 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc červenec [32]	102
Graf 33 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc srpen [32]	102
Graf 34 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 22.07. – 29.07. [32].....	102
Graf 35 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 07.08. – 14.08. [32].....	103
Graf 36 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc duben [32].....	103
Graf 37 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – měsíc listopad [32]	103
Graf 38 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 01.04. – 08.04. [32].....	104
Graf 39 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – týden 18.11. – 25.11. [32].....	104
Graf 40 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – datum 12.02. [32]	105
Graf 41 Průběh skutečných a simulovaných teplot skladbou – datum 28.07. [32]	105
Graf 42 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky ${}_a\theta_{s1}$ – leden [32]	106
Graf 43 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky ${}_a\theta_{s1}$ – duben [32]	106
Graf 44 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky ${}_a\theta_{s1}$ – červenec [32].....	106
Graf 45 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky ${}_a\theta_{s1}$ – srpen [32].....	106
Graf 46 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky ${}_a\theta_{s1}$ – listopad [32].....	107
Graf 47 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ – leden [32].....	107
Graf 48 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ – duben [32].....	107
Graf 49 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ – červenec [32]	107
Graf 50 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ – srpen [32].....	108
Graf 51 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu ${}_a\theta_{s2}$ – listopad [32].....	108
Graf 52 Histogram hustoty tepelného toku skladbou ${}_a q_{kl}$ – leden [32]	108

Graf 53 Histogram hustoty tepelného toku skladbou $a_{q_{kl}}$ – duben [32]	108
Graf 54 Histogram hustoty tepelného toku skladbou $a_{q_{kl}}$ – červenec [32]	109
Graf 55 Histogram hustoty tepelného toku skladbou $a_{q_{kl}}$ – srpen [32]	109
Graf 56 Histogram hustoty tepelného toku skladbou $a_{q_{kl}}$ – listopad [32]	109
Graf 57 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a omítky $a_{\theta_{s1}}$ – celý rok [32]	125
Graf 58 Histogram teplot na rozhraní nosné hmotné konstrukce a izolantu $a_{\theta_{s2}}$ – celý rok [32]	125
Graf 59 Histogram teplot na izolantu $a_{\theta_{s3}}$ – celý rok [32]	126
Graf 60 Histogram teplot na DHV $a_{\theta_{s4}}$ – celý rok [32]	126
Graf 61 Histogram hustot tepelných toků $a_{q_{kl}}$ – celý rok [32]	126
Graf 62 Varianta A – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]	131
Graf 63 Varianta A – Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]	131
Graf 64 Varianta A – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]	132
Graf 65 Varianta B – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]	132
Graf 66 Varianta B – Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]	132
Graf 67 Varianta B – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]	133
Graf 68 Varianta C – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]	133
Graf 69 Varianta C – Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]	133
Graf 70 Varianta C – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]	134
Graf 71 Varianta D – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní izolantu a nosné konstrukce [32]	134
Graf 72 Varianta D – Izolinie teploty a vlhkosti v hloubce nosné konstrukce 0,108 m [32]	134
Graf 73 Varianta D – Izolinie teploty a vlhkosti na rozhraní nosné konstrukce a omítky [32]	135
Graf 74 Množství vody v jednotlivých vrstvách [32]	135
Graf 75 Celkové množství vody v konstrukci jednotlivých variant [32]	135
Graf 76 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc leden [32]	136
Graf 77 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc duben [32]	136
Graf 78 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc červenec [32]	137
Graf 79 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc srpen [32]	137
Graf 80 Průběh teplot jednotlivých materiálových variant – měsíc listopad [32]	137
Graf 81 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc leden [32]	169
Graf 82 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc leden [32]	170
Graf 83 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc duben [32]	170
Graf 84 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc duben [32]	170
Graf 85 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc červenec [32]	171
Graf 86 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc červenec [32]	171
Graf 87 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc srpen [32]	171
Graf 88 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc srpen [32]	172
Graf 89 Varianty 1–3b – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc listopad [32]	172
Graf 90 Varianty 4a–6 – Průběh teplot jednotlivých stavebních úprav – měsíc listopad [32]	172
Graf 91 Průběh teplot interiéru θ_{ai} koncepce různého zastínění – 11.08 – 18.08 2020 [32]	222

J.4 Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka relaxační doby materiálů různých tloušťek [45]	59
Tabulka 2 Tabulka poklesu teplot k 0 °C v závislosti na relaxační době a druhu materiálu [45]	59
Tabulka 3 Vlastnosti předmětné zóny 1.03+1.08 Obývací pokoj + kuchyně	83
Tabulka 4 Vlastnosti skladeb pláště šikmé střechy základní simulace	84
Tabulka 5 Výsledky simulace nízkých solárních zisků vyjádřeny v tabulce	86
Tabulka 6 Výsledky simulace vysokých solárních zisků vyjádřeny v tabulce	86
Tabulka 7 Vzájemné porovnání mezi skladbami A a B	87
Tabulka 8 Výsledky vzájemného porovnání mezi skladbami A a B	87
Tabulka 9 Vlastní porovnání skladeb A a B při různých solárních ziscích	88
Tabulka 10 Výsledky vlastního porovnání skladeb A a B při různých solárních ziscích	88
Tabulka 11 Tabulka parametrů konstrukce modelu [32]	94
Tabulka 12 Tabulka podobnosti simulace a experimentálního měření [32]	94
Tabulka 13 Tabulka analýzy teplot na předmětných vrstvách v jednotlivých měsících [32]	114

Tabulka 14 Tabulka analýzy teplot na předmětných vrstvách v jednotlivých měsících [32]	115
Tabulka 15 Tabulka hustot tepelných toků a rozložení zisků a ztrát konstrukcí v čase [32]	116
Tabulka 16 Tabulka parametrů nových hmotných vrstev jednotlivých modelů [32]	130
Tabulka 17 Varianta A – Tabulka analýzy teplot [32]	138
Tabulka 18 Varianta B – Tabulka analýzy teplot [32]	138
Tabulka 19 Varianta C – Tabulka analýzy teplot [32]	138
Tabulka 20 Varianta D – Tabulka analýzy teplot [32]	139
Tabulka 21 Varianta A+B – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	139
Tabulka 22 Varianta C+D – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	139
Tabulka 23 Vlastnosti předmětné zóny 2.04 Pracovna [32]	157
Tabulka 24 Podobnost simulace výchozího stavu orientace a experimentálního měření [32]	158
Tabulka 25 Procentuální srovnání simulace 1 až 8 s výchozím stavem [32]	159
Tabulka 26 Tabulka parametrů stavebních úprav vrstev jednotlivých modelů [32]	168
Tabulka 27 Tabulka tepelně technických parametrů stavebních úprav [32]	169
Tabulka 28 Varianta 1 + 2a – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]	173
Tabulka 29 Varianta 2b + 2c – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]	173
Tabulka 30 Varianta 3a + 3b – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]	173
Tabulka 31 Varianta 4a + 4b – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]	174
Tabulka 32 Varianta 5a + 5b – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]	174
Tabulka 33 Varianta 6 – Tabulka analýzy teplot θ_{s2} [32]	174
Tabulka 34 Varianta 1+2a – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	175
Tabulka 35 Varianta 2b+2c – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	175
Tabulka 36 Varianta 3a+3b – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	175
Tabulka 37 Varianta 4a + 4b – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	176
Tabulka 38 Varianta 5a + 5b – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	176
Tabulka 39 Varianta 6 – Tabulka hustot tepelných toků q_{k1} a jejich rozložení v čase [32]	176
Tabulka 40 Průměrné teploty a průměrné odchylky všech stavebních úprav [32]	192
Tabulka 41 Průměrné hustoty tepelných toků q_{k1} a počty ziskových a ztrátových dnů stavebních úprav [32]	196

J.5 Seznam použitých zkratk

CTF	Conduction Transfer Functions
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DHV	Doplňková Hydroizolační Vrstva
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EN	Evropská norma
EPS	Expandovaný polystyren
EX_RD	Experimentální rodinný dům
FAST VUT	Fakulta stavební Vysokého učení technického
H.T.T.	Hustota tepelného toku
CHLA.	Sledovaná energie chlazení
IWEC	International Weather for Energy Calculations
Max	Maximum
Med.	Medián
Min	Minimum
NSZ	Nízké solární zisky
Odch.	Odchylka
OPE.	Sledovaná operativní teplota
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
PE-Xa	Polyethylen zesíťovaný/zesílený metodou peroxidu
PIR	Polyisokyanurát

PMC	Phase Change Materials
Pozn.	Poznámka
PRŮM.	Průměr
PUR	Polyuretan
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
RAD.	Sledovaná radiační teplota
RD	Rodinný dům
SI	Mezinárodní systém jednotek
Sm. Odch.	Směrodatná odchylka
SOL.	Sledovaná energie solárních zisků či ztrát
SW	Software
TI.	Tloušťka
UPS	Uninterruptible Power Supply / Uninterruptible Power Source
ÚPST	Ústav pozemního stavitelství
Var.	Varianta
VENT.	Sledovaná energie ventilace
VSZ	Vysoké solární zisky
VVV	Větraná vzduchová vrstva
VYT.	Sledovaná energie vytápění
VZD.	Sledovaná teplota vzduchu
VZT	Vzduchotechnika
Zabud. Vlhkost	Zabudovaná vlhkost

J.6 Seznam použitých symbolů

$n_{50,N}$	normový rozdíl tlaků 50 Pa	
ρ_s	plošná hmotnost materiálu	[kg·m ⁻²]
U	součinitel prostupu tepla	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
$U_{pas,20}$	součinitel prostupu tepla doporučený pro pasivní budovy	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
$U_{N,20}$	součinitel prostupu tepla požadovaný	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
ρ_{dn}	objemová hmotnost v suchém stavu	[kg·m ⁻³]
c_{dn}	měrná tepelná kapacita v suchém stavu	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
μ	faktor difúzního odporu	[-]
δ	součinitel difúze vodní páry	[s]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
v	rychlost	[km·h ⁻¹]
Q	množství tepelné energie	[J]
ρ	objemová hmotnost materiálu	[kg·m ⁻³]
m	hmotnost látky	[kg]
c	měrná tepelná kapacita	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]
T	rozdíl počáteční a konečné teploty	[K]
V	objem látky	[m ³]
S	plocha látky	[m ²]
q	hustota tepelného toku	[W·m ⁻²]
Φ	tepelný tok [J·s ⁻¹] = Watt	[W]
t	čas	[s]
$grad \theta$	gradient teploty	[K·m ⁻¹]
$\theta_2 - \theta_1$	teplotní rozdíl ustáleného vedení tepla	[K]
d	délka	[m]
$\partial \theta$	diferenciál teploty ustáleného vedení	[K]
∂x	diferenciál polohy	[m]
\vec{q}	vektor hustoty tepelného toku přenášeného pouze vedením	[W·m ⁻²]
α	součinitel teplotní vodivosti	[m ² ·s ⁻¹]
θ	teplota	[K]

x, y, z	souřadnice	[m]
θ_s	teplota povrchu vystaveného konvekci	[°C]
θ_{ai}	teplota vzduchu	[°C]
H	intenzita vyzařování povrchu	[W·m ⁻²]
ε	emisivita povrchu tělesa, pro absolutně černé těleso = 1	[-]
C_ε	Stefan-Boltzmannova konstanta [cca 5,67032·10 ⁻⁸ W·m ⁻² ·K ⁻⁴]	[W·m ⁻² ·K ⁻⁴]
h	Planckova konstanta [6,62618·10 ⁻³⁴ J·s]	[J·s]
c	rychlost světla ve vakuu [299 792 482 m·s ⁻¹]	[m·s ⁻¹]
k	Boltzmannova konstanta [1,38066·10 ⁻²³ J·K ⁻¹]	[J·K ⁻¹]
λ_{max}	vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování	[m]
b	Wienova konstanta [2,8987729·10 ⁻³ m·K]	[m·K]
ρ_r	poměrná odrazivost (reflektance)	[-]
α_r	poměrná pohltivost (absorptance)	[-]
τ_r	poměrná průteplivost (transmitance)	[-]
H	intenzita vyzařování povrchu šedého zářiče	[W·m ⁻²]
H_b	intenzita vyzařování povrchu černého zářiče	[W·m ⁻²]
ε	emisivita povrchu tělesa 0 < 1	[-]
Φ_e	tepelný tok vyzářením [J·s ⁻¹] = Watt	[W]
Q_e	množství zářivé tepelné energie vypočítané součinem intenzity vyzařování povrchu a plochy	[J]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	[m ² ·K·W ⁻¹]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	[m ² ·K·W ⁻¹]
h_{se}	součinitel přestupu tepla na vnější straně	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
h_{si}	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]
R_i	tepelný odpor vrstvy konstrukce	[m ² ·K·W ⁻¹]
$\sum R_i$	tepelný odpor všech vrstev konstrukce	[m ² ·K·W ⁻¹]
P	celkový tlak plynné směsi	[Pa]
p_i	parciální tlak dílčích plynů přítomných ve směsi	[Pa]
n_x	celková pórovitost	[-; %]
V_p	objem pórového prostoru	[m ³]
V_c	objem celkového prostoru	[m ³]
m_w	hmotnost vlhkého materiálu	[kg]
m_d	hmotnost suchého materiálu	[kg]
m_k	hmotnost kapaliny obsažené v materiálu	[kg]
w_h	hmotnostní vlhkost	[-; %]
V_v	objem volné vody	[m ³]
V_d	objem suchého materiálu	[m ³]
ρ_k	hustota vody	[kg·m ⁻³]
ρ_d	objemová hmotnost suchého materiálu	[kg·m ⁻³]
w_v	objemová vlhkost	[-; %]
h	změřená hodnota hmotnostní vlhkosti	[-; %]
w'_h	hmotnostní vlhkost vzorku zcela nasyceného vodou	[-; %]
ψ_{sn}	stupeň nasycení	[-; %]
\dot{m}	kondenzační / evaporační rychlost u pórovitých materiálů	[kg·m ⁻³ ·s ⁻¹]
\dot{Q}_{pha}	teplo kondenzace nebo evaporace	[J·m ⁻³ ·s ⁻¹]
J_v	vlhkostní tok vodní páry	[kg·m ⁻² ·s ⁻¹]
J_l	vlhkostní tok kondenzátu	[kg·m ⁻² ·s ⁻¹]
ξ	sklon izotermy absorbce u pórovitého materiálu	[-]
$P_{v,sat}$	tlak nasycené vodní páry	[Pa]
P_v	tlak vodní páry	[Pa]
h_l	latentní teplo/entalpie vlhkostního toku kondenzátu	[J·kg ⁻¹]
h_v	latentní teplo/entalpie vlhkostního toku vodní páry	[J·kg ⁻¹]
$grad p_v$	gradient parciálního tlaku vodní páry	[Pa·m ⁻¹]
∂p_v	diferenciál tlaku vodní páry	[Pa]

∂x	diferenciál polohy	[m]
$gradC$	gradient koncentrace	[mol·m ⁻⁴]
$\partial\rho$	diferenciál hustoty	[kg·m ⁻³]
∂C	diferenciál koncentrace	[mol·m ⁻³]
D	difúzní součinitel	[m ² ·s ⁻¹]
g	hustota difuzního toku	[kg·m ⁻² ·s ⁻¹]
δ	součinitel difuze vodní páry v příslušném materiálu	[kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹]
sd	ekvivalentní difúzní tloušťka	[m]
Δp	rozdíl parciálních tlaků vodní páry	[Pa]
δ_p	součinitel difuze vodní páry v příslušném materiálu	[kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹]
δ_0	součinitel difuze vodní páry vzduchu	[kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹]
∂m	diferenciál hmotnosti soustavy	[kg]
∂t	diferenciál času	[s]
$\theta_{i,m}$	průměrná teplota i-té vrstvy	[°C]
e	Eulerovo číslo	[-]
ρ_0	hustota vzduchu u hladiny moře	[kg·m ⁻³]
N	teplotní difuzní funkce závislá na teplotě a barometrickém tlaku s tabelovanými hodnotami	[s ⁻¹]
Z_p	difuzní odpor konstrukce	[m·s ⁻¹]
$Z_{p,i}$	difuzní odpor i-té vrstvy v konstrukci	[m·s ⁻¹]
$s_{d,i}$	ekvivalentní difuzní tloušťka i-té vrstvy v konstrukci	[m]
g^*	tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
h^*	výška	[m]
dH/dT	akumulace tepla ve vlhkém materiálu	[J·m ⁻³ ·K ⁻¹]
$dw/d\phi$	akumulace vlhkosti materiálu	[kg·m ⁻³]
h_v	měrné skupenské teplo	[J·kg ⁻¹]
κ	objemová tepelná kapacita	[J·K ⁻¹ ·m ⁻³]
c_A	plošná tepelná kapacita	[J·K ⁻¹ ·m ⁻²]
b	tepelná jímavost	[W ² ·s·K ⁻² ·m ⁴]
v	teplotní útlum	[-]
A_e	teplotní amplituda vnějšího vzduchu	[K]
As_i	teplotní amplituda na vnitřním povrchu konstrukce	[K]
ψ	fázový posun teplotního kmitu	[-]
D^*	tepelná setrvačnost konstrukce	[h]
s_i	vnitřní konstrukce, vnitřní povrch	[-]
s_e	vnější konstrukce, vnější povrch	[-]
τ_0	relaxační doba	[h]
$\tau_0(n)$	relaxační doba vícevrstvé konstrukce	[h]
θ_g	radiační teplota/teplota kulového teploměru	[°C]
θ_0	operativní teplota vzduchu	[°C]
θ_r	střední teplota sálání	[°C]
φ_{ai}	relativní vlhkost vzduchu	[%]
θ_{wb}	teplota mokrého teploměru	[°C]
θ_{dp}	teplota rosného bodu	[°C]
v_a	rychlost proudění vzduchu	[m·s ⁻¹]
$\theta_{ai,max}$	nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období	[°C]
$\theta_{ai,max,N}^*$	požadovaná nejv. den. tepl. vzduchu místnosti v letním období	[°C]
$\Delta\theta_{V(t)}$	nejvyšší pokles teploty místnosti v zimním období	[°C]
$\Delta\theta_{V,N(t)}$	požadovaný nejvyšší pokles teploty místnosti v zimním období	[°C]
$V_{min,i}$	požadovaný objem výměny vzduchu	[m ³ ·h ⁻¹]
V_i	objem místnosti nebo větraného prostoru	[m ³]
n_{min}	minimální požadovaná výměna vzduchu místnosti za hodinu	[h ⁻¹]
$a\theta_{ai1}$	teplota vzduchu v interiéru místnosti 2.04	[°C]
$a\varphi_{ai1}$	relativní vlhkost vzduchu v interiéru místnosti 2.04	[%]

aq_{k1}	hustota tepelného toku ve skladbě střechy na rozhraní hmotného pláště šikmé střechy a tepelné izolace	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
$a\theta_{s1}$	teplota na rozh. interiéru a hmotného pláště šikmé střechy	$[\text{°C}]$
$a\theta_{s2}$	teplota na rozh. hmotného pláště šikmé střechy a tepelné izolace	$[\text{°C}]$
$a\theta_{s3}$	teplota na rozh. tepelné izolace a nevětrané vzduchové vrstvě	$[\text{°C}]$
$a\theta_{s4}$	teplota na DHV, tedy rozhraní DHV a VVV pod krytinou	$[\text{°C}]$
$a\theta_{s5}$	teplota na spodním líci střešní krytiny	$[\text{°C}]$
$a\theta_{s6}$	teplota na horním líci střešní krytiny	$[\text{°C}]$
$c\theta_{ai2}$	teplota vzduchu v interiéru místnosti 2.04	$[\text{°C}]$
$c\varphi_{ai2}$	relativní vlhkost vzduchu v interiéru místnosti 2.04	$[\%]$
$c\theta_{e,v}$	teplota vzduchu ve VVV střechy	$[\text{°C}]$
$c\varphi_{e,v}$	relativní vlhkost vzduchu ve VVV střechy	$[\%]$
$chmi\theta_{e1}$	teplota vzduchu průměrná v exteriéru	$[\text{°C}]$
$chmi\theta_{e,sp,min}$	přízemní minimální teplota vzduchu měřená 5 cm nad zemí	$[\text{°C}]$
$chmi\varphi_{e1}$	relativní průměrná vlhkost vzduchu v exteriéru	$[\%]$
$chmiD$	průměrný směr větru	$[\text{°}]$
$chmiV_a$	průměrná rychlost větru	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
$chmiV_{a,max}$	maximální rychlost větru	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$
$chmiSRA_{10M}$	úhrn srážek za 10 minut	$[\text{mm}]$
$chmiSSV_{10m}$	úhrn slunečního svitu za 10 minut	$[\text{s}]$
$chmiRGLB_{10}$	hustota globálního záření-souhrnná	$[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$
X, Y	faktory odezvy, koeficient met. CTF	$[-]$
$j\delta$	koeficient toku CTF	$[-]$
θ_{To}	termodynamická teplota exteriéru	$[\text{K}]$
θ_{Ti}	termodynamická teplota interiéru	$[\text{K}]$
n_x	porozita	$[-]$
g_g	činitel prostupu sluneční energie oken/solární faktor	$[-]$
θ_{rad}	radiační teplota	$[\text{°C}]$
θ_{ope}	operativní teplota	$[\text{°C}]$
