

## **DIZERTAČNÍ PRÁCE**

### **ANALÝZA POMĚRŮ V PROVĚTRÁVANÉ MEZEŘE DVOUPLÁŠŤOVÉ KONSTRUKCE OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ V ZIMNÍM OBDOBÍ**

**Autor:** Ing. Miloš Rehberger

**Studijní program:** (P731) – Architektura a urbanismus

**Školitel:** doc. Ing. Vladimír Daňkovský, CSc.

**Školící pracoviště:** 15123 Ústav stavitelství I

**Datum vydání:** únor 2022

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému školiteli doc. Ing. Vladimíru Daňkovskému, CSc. za jeho odborné vedení a za trpělivost nejen při zpracování této práce, ale i po celou mého doktorského studia.

Poděkování patří také: doc. Dr. Ing. Zbyňkovi Svobodovi z Katedry pozemních staveb Fakulty stavební ČVUT Praha za nezištnou obětavost a pomoc v rámci konzultací při zpracování této práce. Kolegům z Ústavu stavitelství I Fakulty architektury ČVUT Praha děkuji za podporu vedoucí k finalizaci této práce.

Děkuji rodině, přátelům a všem výše nejmenovaným, kteří mi po celou dobu vyjadřovali psychickou podporu, byli trpěliví a přispěli i cennými radami.

**Klíčová slova**

Provětrávaná fasáda, kondenzace, oslunění fasády.

**Key words**

Ventilated facade, condensation, solar radiation.

**Abstrakt**

Dizertační práce analyzuje poměry v provětrávané mezeře dvouplášťové konstrukce obvodového pláště v zimním období se zohledněním oslunění fasády. Práce nabízí metodiku provedení této analýzy pro konstrukci obecné skladby, obecného sklonu a obecné orientace vůči světovým stranám, a to pomocí nástrojů běžně užívaných v projekční praxi včetně příbuzných oborů. Autor na základě zjištěných skutečností vyvozuje závěry pro materiálové a konstrukční řešení konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou, vedoucí ke zvýšení její spolehlivosti a estetického působení.

Výzkum je založen na mnohaletých zkušenostech autora z projekční praxe a realizace rezidenčních objektů různých měřítek, s větším či menším podílem konstrukcí obvodových plášťů tohoto typu.

**Abstract**

The Doctoral Thesis analysis conditions inside of ventilated space in multilayer facade structure. The analysis is done for external conditions during winter including solar radiation. The analysis method includes common ways and instruments used in design works. The thesis draw conclusions for multilayer facades' long term reliability and esthetic aspects.

Research is based on author's own long years experience at residential projects including multilayer facade structures.

## **Anotace**

Předkládaná práce nahlíží pod povrch dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou. Konstrukce, která je v praxi jedním z nejběžnějších typů konstrukcí fasád. Konstrukce, jež architektovi přináší nejenom volnost materiálového, tvarového a estetického řešení a široké spektrum barevného libreta, ale z pohledu architekta jako nositele zakázky také značnou míru zodpovědnosti za návrh a finální realizaci konkrétního technického řešení konstrukce obvodového pláště.

Práce si neklade za cíl zhodnotit chování konstrukce jako celku a v celé šíři okrajových podmínek. Nahlíží pouze na specifickou, životně důležitou část této konstrukce – prostředí provětrávané mezery – ve specifických podmínkách zimního období (listopad až únor), se zahrnutím vlivů v běžné stavební praxi neakcentovaných, především s vlivem oslunění fasády v zimním období. Účelem práce je v těchto konkrétních podmínkách pomocí jednoduchých běžně užívaných nástrojů podrobněji rozkrýt a analyzovat podmínky v prostředí provětrávané mezery v zimním období a ze získaných dat vyvodit závěry potvrzující nebo zpřesňující zjednodušující axiomaticky chápané fakty odborné i laické veřejnosti.

Práce nabízí metodiku provedení této analýzy pro konstrukci obecné skladby, obecného sklonu a obecné orientace vůči světovým stranám, a to pomocí nástrojů běžně užívaných v projekční praxi včetně příbuzných oborů. Pro účel analýzy byl vytvořen jednoduchý výpočtový model dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou na výšku cca jednoho podlaží a velkoformátovým obkladem z vláknocementových desek CEMBRIT Solid. Tento jednoduchý model je analyzován v okrajových podmínkách vnějšího prostředí databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782, pro svislou fasádu orientovanou na jih. Pro vybrané výpočtové stavy jsou dále provedeny dopočty pro fasády orientované na východ a západ.

Jednotlivé výpočtové stavy jsou vybrány na základě typových klimatických charakteristik opakujících se period ve sledovaném období listopad až únor, a to nejen v úsecích jednotlivých dnů, ale také v několika sériích několika po sobě jdoucích dnů.

Na základě vypočtených dat a jejich analýzy jsou v závěru práce nabízena doporučení pro návrh materiálového a technického řešení dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou. Hlavním přínosem práce je však vytvoření metodiky pro analýzu konstrukce obecné skladby, obecného sklonu a obecné orientace vůči světovým stranám v obecné geografické poloze a ročním období.

## **Annotation**

The doctoral thesis describes the space of the ventilated gap, as a part of the multilayer facade structure. This structure seems to be one of the most common types of facade structures. This structure offers not only the option of material, shape, aesthetics, wide range of colour libretto but also a considerable degree of responsibility for the designer towards its final implementation, technical solution and long term durability.

The work does not describe whole multilayer facade structure, but only the parameters inside of the ventilated gap during the external winter conditions (November – February), solar radiation and wind included, such the most important space of the whole structure.

The work offers a methodology for performing this analysis for the structure of a general composition, general inclination and general orientation, using tools commonly used in design practice, including related fields. For the purpose of the analysis, the work sets the one floor's height 3000 mm simple computational model of a double-skin construction with a ventilated gap thickness 40 mm and the a large-format external cladding made of fiber-cement boards. This simple model is analyzed in the boundary conditions of the external environment of the reference climatic year's database for the locality Prague Chodov, for a vertical facade facing south. Additional calculations for facades oriented to the east and west are also performed for selected calculation cases.

The results of individual calculation cases are selected on the base of typical climatic characteristics during the periods from November to February, not only such of individual days, but also monthly in several series of several consecutive days.

Based on the calculated data and their analysis, recommendations for the design of the material and technical solution of the double-skin construction with a ventilated gap are offered at the end of the work. The main contribution of the work is the creation of a methodology for the analysis of the structure of the general composition, general inclination and general orientation in a general geographical location and season.

The analysis method includes common ways and instruments using in design works. The work draw conclusions for multilayer facades' long term reliability and esthetic aspects.

Research is based on own long years' experience at residential projects included multilayer facade structures.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že dizertační práci s názvem „Analýza poměrů v provětrávané mezeře dvouplášťové konstrukce obvodového pláště v zimním období“ jsem zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité zdroje.

V Praze dne 7. 2. 2022

Ing. Miloš Rehberger

autor práce

## Obsah

<b>A/ ÚVOD</b> .....	1
A.1/ OBVODOVÝ PLÁŠŤ BUDOVY JAKO POJEM A ZAŘAZENÍ KONSTRUKCE OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ DO AKTUÁLNÍHO KONTEXTU DOBY .....	1
A.2/ CÍLE PRÁCE .....	6
<b>A.2.1/ Specifikace cílů práce</b> .....	6
<b>A.2.2/ Prostředky pro dosažení cílů</b> .....	8
<b>A.2.3/ Důvody volby cílů</b> .....	9
A.3/ ROZDĚLENÍ A VÝVOJ KONSTRUKCÍ OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ .....	11
<b>A.3.1/ Základní dělení konstrukcí obvodových plášťů</b> .....	11
<b>A.3.2/ Jednovrstvá homogenní konstrukce obvodového pláště</b> .....	13
<b>A.3.3/ Vývojová větev oddělení plášťů jednovrstvé homogenní konstrukce</b> .....	17
<b>A.3.4/ Kompaktní vícevrstvé konstrukce obvodových plášťů</b> .....	19
<b>A.3.5/ Dvoupplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou jako         difúzně otevřené konstrukce obvodových plášťů</b> .....	29
<b>B/ SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	41
B.1/ LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA KONSTRUKCE OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ S PROVĚTRÁVANOU MEZEROU .....	41
<b>B.1.1/ Existence tuzemských technických norem pro konstrukce obvodových plášťů         s provětrávanou mezerou</b> .....	41
<b>B.1.2/ Příklady zahraničních regulativů pro konstrukci obvodových plášťů s větranou         mezerou</b> .....	42
<b>B.1.3/ Základní kategorie požadavků z hlediska základní řady tepelně technických         norem řady ČSN 73 0540</b> .....	44
<b>B.1.4/ Aerodynamické požadavky na konstrukci obvodových plášťů</b> .....	49
<b>B.1.5/ Hydrodynamické požadavky na konstrukci obvodových plášťů</b> .....	50
B.2/ PŘÍKLADY STUDIÍ A ANALÝZ JINÝCH SUBJEKTŮ A JEJICH KRITICKÉ ZHODNOCENÍ .....	53
<b>B.2.1/ Výzkumné práce, analýzy a studie VUT v Brně</b> .....	54
<b>C/ METODIKA</b> .....	68
C.1/ VÝPOČTOVÝ MODEL .....	68
<b>C.1.1/ Skladba konstrukce</b> .....	69
<b>C.1.2/ Geometrie výpočtového modelu</b> .....	72
<b>C.1.3/ Orientace a sklon výpočtového modelu fasády</b> .....	73
<b>C.1.4/ Stínění fasád výpočtového modelu</b> .....	74

<b>C.1.5/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou</b>	75
<b>C.1.6/ Parametry vnitřního prostředí</b>	76
<b>C.1.7/ Volba výpočetních stavů s ohledem na výskyt klimatických jevů v denních intervalech</b>	77
<b>C.2/ VÝPOČETNÍ PŘÍSTUPY</b>	80
<b>C.2.1/ Teplota a rychlost proudění v otevřené vzduchové vrstvě dle ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov, Část 4: Výpočtové metody</b>	80
<b>C.2.2/ Výpočty v programu Mezera2017 K-CAD, spol. s r.o.</b>	82
<b>C.2.3/ Přestup tepla a proudění vzduchu v provětrávané vzduchové mezeře vícevrstevných fasád dle jiných metodik</b>	84
<b>C.2.4/ Difúze a kondenzace vodní páry ve stavební konstrukci</b>	87
<b>C.2.5/ Prostup vlhkosti stěnou</b>	89
<b>C.2.6/ Difúzní odpor vícevrstvé stěny</b>	90
<b>C.2.7/ Slunce</b>	91
<b>C.3/ KLIMATICKÁ DATA A VÝBĚR VHODNÉHO ČASOVÉHO OBDOBÍ PRO PROVEDENÍ ANALÝZY</b>	101
<b>C.3.1/ Klimatické podmínky uplatňované ve stavební tepelné technice</b>	101
<b>C.3.2/ Referenční klimatický rok pro danou lokalitu</b>	102
<b>D/ VÝSLEDKY PRÁCE A NOVÉ POZNATKY</b>	104
<b>D.1/ ZHODNOCENÍ TYPOVÝCH VÝPOČETNÍCH STAVŮ</b>	104
<b>D.1.1/ Teplý zatažený den (se zvýšenou vlhkostí) – 20. listopadu – jižní fasáda</b>	104
<b>D.1.2/ Teplý zatažený den – 1. ledna – jižní fasáda</b>	106
<b>D.1.3/ Teplý polojasný den – 21. listopadu – jižní fasáda</b>	108
<b>D.1.4/ Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu směrem do mrazivého polojasného dne – 22. prosince – jižní fasáda</b>	110
<b>D.1.5/ Chladný zatažený den (se zvýšenou vlhkostí) – 27. listopadu – jižní fasáda</b>	112
<b>D.1.6/ Chladný zatažený den – 26. prosince – jižní fasáda</b>	115
<b>D.1.7/ Studený zatažený den (s vlivem vlhkosti) – 28. listopadu – jižní fasáda</b>	117
<b>D.1.8/ Mrazivý polojasný den – 23. prosince – jižní fasáda</b>	119
<b>D.1.9/ Mrazivý polojasný den (s vlivem vlhkosti) – 23. února – jižní fasáda</b>	121
<b>D.1.10/ Mrazivý zatažený den – 25. prosince – jižní fasáda</b>	123
<b>D.1.11/ Mrazivý jasný den – 25. února – jižní fasáda</b>	125
<b>D.1.12/ Mrazivý jasný den – 24. prosince – jižní fasáda</b>	128
<b>D.1.13/ Mrazivý jasný den – 15. ledna – jižní fasáda</b>	130



<b>D.1.14/ Mrazivý jasný den – 15. ledna – dopočet východní a západní fasády</b> .....	132
<b>D.1.15/ Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda</b> .....	138
<b>D.1.16/ Série únorových jasných mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda</b> .....	145
<b>D.1.17/ Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda</b> .....	153
<b>E/ ZÁVĚRY PRO PRAXI A DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST</b> .....	163
E.1/ SPLNĚNÍ CÍLŮ A ZÁVĚRY PRO PRAXI.....	163
E.2/ ZÁVĚRY PRO DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST.....	177
<b>F/ SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY / BIBLIOGRAFIE</b> .....	179
<b>G/ SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	182
<b>H/ SEZNAM TABULEK</b> .....	185
<b>I/ CURRICULUM VITAE</b> .....	187
<b>J/ PUBLIKACE</b> .....	189
<b>K/ PŘÍLOHY:</b> .....	190
PŘÍLOHA 1/ Teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 20/11 – jižní fasáda .....	190
PŘÍLOHA 2/ Teplý zatažený den – 1/1 – jižní fasáda.....	191
PŘÍLOHA 3/ Teplý polojasný den – 21/11 – jižní fasáda.....	192
PŘÍLOHA 4/ Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu – 22/12 – jižní fasáda	193
PŘÍLOHA 5/ Chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 27/11 – jižní fasáda.....	194
PŘÍLOHA 6/ Chladný zatažený den – 26/12 – jižní fasáda.....	195
PŘÍLOHA 7/ Studený zatažený den s vlivem vlhkosti – 28/11 – jižní fasáda.....	196
PŘÍLOHA 8/ Mrazivý polojasný den – 23/12 – jižní fasáda.....	197
PŘÍLOHA 9/ Mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti – 23/2 – jižní fasáda.....	198
PŘÍLOHA 10/ Mrazivý zatažený den – 25/12 – jižní fasáda .....	199
PŘÍLOHA 11/ Mrazivý jasný den – 25/2 – jižní fasáda .....	200
PŘÍLOHA 12/ Mrazivý jasný den – 24/12 – jižní fasáda.....	201
PŘÍLOHA 13/ Mrazivý jasný den – 15/1 – jižní fasáda .....	202
PŘÍLOHA 14/ Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda.....	203
PŘÍLOHA 15/ Série únorových mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda .....	204
PŘÍLOHA 16/ Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda.....	205

## **A/ ÚVOD**

Předkládaná práce podrobněji analyzuje prostředí provětrávané mezery dvouplášťové konstrukce obvodového pláště, která je v praxi jedním z nejběžnějších typů konstrukcí fasád. Tato konstrukce poskytuje architektovi nejen volnost materiálového, tvarového a estetického řešení a široké spektrum barevného libreta, ale z pozice architekta jako nositele zakázky sebou přináší také značnou míru zodpovědnosti za návrh a finální realizaci konkrétního technického řešení konstrukce obvodového pláště. V důsledku toho sebou tento typ konstrukce obvodového pláště nese mnoho zjednodušujících faktů, v běžné stavební praxi chápaných téměř axiomatically. Práce si neklade za cíl zhodnotit chování konstrukce jako celku a v celé šíři okrajových podmínek, ale nahlíží pouze na specifickou, životně důležitou část této konstrukce – **prostředí provětrávané mezery** – ve specifických podmínkách zimního období, se zahrnutím vlivů v běžné stavební praxi neakcentovaných, tedy s vlivem oslunění fasády a s vlivem krajně nevyzpytatelné proměnné jakou je vítr. Účelem práce je v těchto konkrétních podmínkách pomocí jednoduchých běžně užívaných nástrojů podrobněji rozkrýt a analyzovat podmínky v prostředí provětrávané mezery v zimním období a ze získaných dat vyvodit závěry potvrzující nebo zpřesňující ony výše zmíněné zjednodušující axiomatically chápané fakty odborné i laické veřejnosti.

Práce je určena nejen odborné veřejnosti, architektům, projektantům, investorům a výrobcům materiálových a systémových řešení v konstrukcích obvodových plášťů s provětrávanou mezerou běžně užívaných, ale také laické veřejnosti, majitelům a uživatelům staveb, jejichž převážnou část obvodového pláště tvoří dvouplášťová konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou.

### **A.1/ OBVODOVÝ PLÁŠŤ BUDOVY JAKO POJEM A ZAŘAZENÍ KONSTRUKCE OBVODOVÉHO PLÁŠŤE DO AKTUÁLNÍHO KONTEXTU DOBY**

Technický termín „obvodový plášť budovy“ obecně zahrnuje všechny materiály a konstrukce, které člověk použil při stavbě nejjednodušších, čistě utilitárních druhů staveb až po nejnáročnější architektonická díla. Architektura a stavitelství jsou pravděpodobně těmi druhy lidské činnosti, se kterými přicházíme do každodenního styku. Jsou potřebami, které zabezpečovaly a zabezpečují jeden ze základních požadavků přežití a existence člověka vůbec. Vytvářejí prostory, ve kterých se člověk ukrývá před nepříznivými vlivy okolního prostředí.<sup>1</sup>

Nejobecnější definici obvodového pláště lze shrnout takto: obvodové pláště se definují jako stavební konstrukce tvořící vnější obal budov, chránící vnitřní prostředí před nepříznivými vlivy prostředí vnějšího. Pojmy „vnitřní“ a „vnější“ však závisí na volbě kritérií, jež je popisují.

---

<sup>1</sup> PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov - fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9. s.11

Architektura, definovaná jako objekt vnějšího prostoru, má i své prostory vnitřní a tyto prostory se od prostoru vnějšího liší pouze svým ohraničením. Toto ohraničení je vytvořené fyzickými prvky různého charakteru, v různé poloze vůči sobě i vůči takto utvářenému prostoru. Tyto prvky, které utvářejí vnitřní prostor, pak lze podle jejich pozice vůči člověku v prostoru se nacházejícímu klasifikovat jako ty, které jsou v horizontální poloze nad a pod vnitřním prostorem a na ty, které se nacházejí v poloze vertikální, jež vytvářejí materializované ohraničení, které jsme zvyklí obecně nazývat obvodovým pláštěm nebo fasádou.<sup>2</sup>

**Nejdůležitějšími faktory, spolupůsobícími navzájem, podílejícími se na tvorbě obvodového pláště jsou:**

- **funkční požadavky**, které bychom v dnešní době obecně definovali základními legislativními požadavky shrnutými ve Stavebním zákoně (mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí, bezpečnost při užívání stavby a úspora energie a tepelná ochrana), přičemž se tyto požadavky dají zobecnit do hledisek staticko – mechanických, stavebně fyzikálních, bezpečnostních a architektonicko – estetických.
- **ekonomicko-společenské požadavky**, v dnešní době odrážející požadavky investora a budoucího uživatele na ekonomii a standard projektu a zájmy zhotovitele na celkové ekonomii realizace díla za účelem generujícím zisk a dostatečné reference vedoucí k dalšímu vzestupu podnikatelské činnosti
- **fyzikální vlastnosti materiálů a úroveň technického rozvoje stavební techniky**, přičemž toto hledisko dále zohledňuje nejen onu funkčnost a ekonomizaci uvedenou výše, ale také hledisko realizační. Obvodový plášť prioritně vyjadřuje architektonické ztvárnění stavby, ale musí přitom být konstrukčně jednoduchý, zhotovitelný ze snadno dostupných materiálů, snadno montovatelný i demontovatelný, ideálně nezávisle na hlavní nosné konstrukci stavby.<sup>3</sup>

Obvodový plášť také tvoří dominantní výrazový prostředek ve struktuře architektonického díla. Spolu s konstrukcemi výplní otvorů se výraznou mírou podílí na tvorbě vnitřního prostředí tím, že chrání budovu a její vnitřní prostor před účinky vnějšího prostředí. Obvodový plášť rozhodující mírou ovlivňuje svým estetickým působením architektonický výraz budovy. Tektonika uspořádání jednotlivých částí konstrukce jako celku a konstrukční možnosti materiálů, z nichž je obvodový plášť složen, významně ovlivňují jeho výraz a vzhled. Obvodový plášť, jako vyjádření statických

---

<sup>2</sup> PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov - fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9. s.1

<sup>3</sup> Tamtéž s.37-100

vlastností hmoty a konstrukce, souvisí z hlediska estetiky s konstrukčním uspořádáním a volbou skladby jednotlivých konstrukčních prvků mezi sebou.

Období, ve kterém se nacházíme, umožňuje aplikaci aktuálního stavu vývoje stavební techniky pro návrhy a realizaci konstrukcí obvodových plášťů splňujících nejnáročnější požadavky z hlediska stavební fyziky obecně, především pak z hlediska tepelné techniky a efektivní aplikace požadavků energetické soběstačnosti staveb, ale také aktivní přístup v oblasti údržby a rekonstrukce staveb.

Vývoj jednoznačně směřuje k trvalé udržitelnosti vývoje architektury a stavitelství, jehož základem by mělo být odstranění zdánlivého paradoxu, že jím není myšlen růst kvantity, který je neudržitelný v prostředí konečných zdrojů, ale rozvoj kvality lidského života, jeho nároků a technologických řešení. Je zajímavé, že tyto principy byly vytyčeny již v 70. letech 20. století – viz. např. SCEP (Study of critical environmental problems, Massachusetts Institute of Technology, 1972), nebo též IPAT (Impact = Population x Affluence x Technology, Ehrlich a Holdren, 1972), a jsou v dnešní době známé, nikoliv však běžně a obecně rozšířené. Odrazem aktuálního vývoje v této oblasti je na druhé straně mimo jiné i fakt, že z hlediska udržitelného rozvoje ve stavebnictví se předkládaná práce nachází v období, kdy je mimo jiné k 1. lednu 2022 původní řada norem ČSN EN 15643-1-5 Udržitelnost ve výstavbě zrušena a nahrazuje se normou ČSN EN 15643 Udržitelnost ve výstavbě – Rámec pro posuzování budov a inženýrských staveb ve znění prosinec 2021. Hlavní dopady ČSN EN 15643 v novém znění jsou pak v souladu s cíli vytyčenými Organizací spojených národů (OSN) v rámci United Nations Sustainable Development Goals (SDG), které představují následující dílčí charakteristiky (Obr. 1):



Obr. 1 - The icons of the United Nations Sustainable Development Goals (SDG) Zdroj: ČSN EN 15643 Udržitelnost ve výstavbě – Rámec pro posuzování budov a inženýrských staveb, Prosinec 2021, s. 8

Tyto cíle jsou mimo jiné sledovány i pracovní skupinou Udržitelnost, ustavené Českou komorou architektů (ČKA). Pracovní skupina Udržitelnost v dubnu 2021 vydává 7 tezí ČKA pro udržitelnou architekturu, popisující možnosti a úkoly, které čekají lidskou společnost v tématu udržitelnosti a které se úzce týkají profese architekta. Udržitelností v architektuře je myšlena dlouhodobá udržitelnost, přínosnost a návratnost investic do proměny prostředí a minimalizace negativních dopadů na okolí s plným vědomím omezování energetické náročnosti staveb, využívání obnovitelných zdrojů, šetření vodou, zajištění zdravého a uživatelsky příjemného životního prostředí a efektivní nakládání s existujícím stavebním fondem.

Udržitelnost ve výstavbě lze jistě nahlížet z mnoha úhlů pohledu. Jedním z nich je např. hledisko energetické náročnosti. Hodnotící analýzy a nástroje jsou u odborné veřejnosti poměrně rozšířené. Jedním z nástrojů je např. návrhový program PHPP (Passivehaus Projektierungspaket) Passivhaus Institutu v Darmstadtu, který předkládá jakési desatero – 10 hlavních tezí vedoucích k nízké potřebě energie (Obr. 2):



Obr. 2 - Deset hlavních tezí vedoucích k nízké spotřebě energie Zdroj: TLUSTÝ 2021, 7 tezí ČKA k udržitelnosti s. 2, <https://www.cka.cz/cs/cka/kontakty/pracovni-skupiny/ps-udrzitelnost>

Vedle klasických architektonických disciplín, týkajících se osazení navrhované stavby do daného území, se v tomto desateru objevují teze týkající se obecně návrhu a technického řešení obvodových plášťů. Tyto teze jsou úzce svázány jak se zájmovým územím výstavby, tak s technologiemi zajišťujícími kvalitu vnitřního prostředí stavby. Obvodový plášť se tak stává hlavním nositelem zodpovědnosti za kvalitu vnitřního prostředí stavby, energetickou náročnost jejího provozu a v konečném důsledku spokojenosti uživatele s výsledkem realizace stavby.

Účelem však není pouhá koncentrace na hlavní problém energetické náročnosti budov a dodržení základních hygienických požadavků na kvalitu vnitřního prostředí, odrážejících se i v problematice návrhu obvodových plášťů budov. Z hlediska dlouhodobé ekonomie je třeba konstrukce obvodových plášťů ošetřit ve smyslu prodloužení jejich životnosti v kombinaci s dosažením jejich dlouhodobé estetiky bez rizika rychlého stárnutí stavebních materiálů a stavebních konstrukcí z těchto materiálů realizovaných, což může v dlouhodobém horizontu vést ke zlepšení estetiky vnějšího prostředí a zvýšení společenské úrovně místa. Pro návrh a realizaci takových konstrukcí obvodových plášťů je ovšem nutné jít pod jejich povrch a snažit se pochopit procesy, které v těchto konstrukcích probíhají.

Tato práce jde pod povrch úzkého segmentu jedné z konstrukcí obvodových plášťů a snaží se specifikovat stavebně-fyzikální procesy, jež mají vliv na její správnou funkci a trvanlivost v čase.

## A.2/ CÍLE PRÁCE

### A.2.1/ Specifikace cílů práce

Předkládaná práce míří ke specifikaci stavebně fyzikálních parametrů v prostředí větrané mezery dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s velkoplošným obkladem, a to **formou teoretické výpočtové studie v úzkém segmentu okrajových podmínek** s využitím klimatických dat Odboru klimatologie ČHMÚ referenčního klimatického roku pro území Praha 11 – Roztyly (Obec: Praha 554 782, KÚ: Chodov 728 225), za použití běžných nástrojů používaných v běžné projekční praxi. Zúžení segmentu okrajových podmínek je omezeno na analýzu chování dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou v zimním období s vlivem oslunění fasády konkrétními hodnotami sluneční radiace v konkrétní pozici fasádní konstrukce a její orientace vůči světovým stranám.

Dílčím cílem práce je **ověření metodiky zjištění stavebně fyzikálních parametrů v prostředí větrané mezery obecné fasády v podrobnějších okrajových podmínkách klimatických dat odpovídajících konkrétní pozici fasády a její orientace vůči světovým stranám**. Toto posouzení nebývá v projekční praxi běžně prováděno. Návrh dvouplášťových konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou se omezuje na nezbytně nutné prokázání legislativními nástroji požadovaných parametrů. Konstrukce jsou navrhovány na základě empirických zkušeností, obecně přijímaných faktů oboru, případně znalosti a doporučení systémových řešení jednotlivých výrobců fasádních obkladů / představených plášťů a jejich podkonstrukcí. Výsledkem pak bývá konglomerát zohledňující systémové aplikace jednotlivých dílčích podsystémů a konstrukčních částí navrhované konstrukce obvodového pláště jako celku v průměrných okrajových podmínkách větší části roku, bez prokázání funkčnosti konstrukce obvodového pláště v přesně omezených časových úsecích, které však následně rozhodují o kvalitě a životnosti konstrukce a jejích přínosech v oblasti energetické náročnosti budovy.

Nejčastějšími důvody takového postupu jsou důvody časové a finanční. Odborná veřejnost nedisponuje dostatečným časovým prostorem a často ani nástroji pro podrobnější analýzu navrhované konstrukce. Zodpovědnost za funkčnost a splnění parametrů navrhované konstrukce přesouvá na zhotovitele, který následně v rámci zpracování realizační a dílenské dokumentace prokazuje správnost návrhu opět pouhými běžnými nástroji, či odkazem na certifikovaná systémová řešení jednotlivých výrobců v šíři požadované subjektem vykonávajícím technický dozor investora a autorský dozor projektanta.

Podrobnější analýza poměrů v provětrávané mezeře dvouplášťových konstrukcí obvodových plášťů a metodika provedení této analýzy v běžné projekční praxi chybí.

## **Cíle práce:**

**1/** Provéřit metodiku zjištění stavebně fyzikálních parametrů v prostředí větrané mezery obecné provětrávané fasády s velkoplošným obkladem v podrobnějších okrajových podmínkách klimatických dat odpovídajících konkrétní pozici fasády a její orientace vůči světovým stranám, a to s použitím běžných nástrojů aktuálně k použití v projekční praxi nabízených, byť třeba nástrojů z příbuzných či navzájem nesouvisejících oborů. Snažit se o vytvoření takové metodiky, která by byla univerzálně použitelná i pro jiná materiálová a konstrukční řešení vnějšího pláště provětrávané fasády, jinou polohu stavby a jiné roční období.

**2/** Pro účel vytvoření metodiky kategorizovat klimatické podmínky z pohledu definice typových dnů v zimním období.

**3.a/** Provéřit míru výskytu kondenzace difundující vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**3.b/** Provéřit rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na výskyt jevu zkondenzované vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**4.a/** Provéřit míru výskytu kondenzace difundující vodní páry v proudícím vzduchu v provětrávané mezeře obvodového pláště s velkoplošným obkladem v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**4.b/** Provéřit rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na výskyt jevu zkondenzované vodní páry v proudícím vzduchu v provětrávané mezeře v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**5.a/** Provéřit rychlosti proudění vzduchu v provětrávané mezeře obvodového pláště s velkoplošným obkladem v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**5.b/** Provéřit rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře obvodového pláště s velkoplošným obkladem v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**6/** Provéřit míru výskytu okrajových podmínek vnějšího prostředí, vedoucích ke kondenzaci na vnitřním líci obkladu fasády a uvnitř větrané mezery.



**7/** Provéřit další možné dopady oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou a s velkoplošným obkladem vnějšího pláště v rozdílných časových úsecích dne v zimním období (např. rozsah pole teplot velkoplošného obkladu fasády a prostředí větrané mezery, rozdílové hodnoty minim a maxim důležitých charakteristik, maximální dosažené hodnoty vybraných charakteristik apod.).

**8/** Z vypočtených dat vyvodit dopady mající vliv na konstrukci dvouplášťové fasády s provětrávanou mezerou a s velkoplošným obkladem vnějšího pláště v zimním období.

### **A.2.2/ Prostředky pro dosažení cílů**

Během své téměř třicetileté projekční praxe jsem navrhl řadu objektů nebo jejich částí s obvodovými pláštěmi s provětrávanou mezerou a s různými obklady vnějšího pláště dle požadovaného architektonického návrhu. Každá z těchto konstrukcí v dané době odpovídala svými parametry aktuálním legislativním požadavkům a každá byla navržena pomocí běžných nástrojů v dané době používaných včetně mých zkušeností z předchozích návrhů a realizací, úměrně času a podrobnosti dokumentace, které jsem jako zodpovědný projektant na zpracování daného stupně měl.

Předkládaná disertační práce se snaží na specifickou část tohoto typu konstrukce obvodového pláště a jejího chování ve specifických podmínkách a rozdílných časových úsecích zimního dne nahlédnout poněkud hlouběji. Toto podrobnější nahlížení pod povrch vnějšího pláště provětrávané fasády provádím s využitím specifických klimatických dat, letitých zkušeností projektanta, aktuálně dostupnými nástroji, než kterými jsou pro daný typ konstrukce nástroje v projekční praxi běžně používány.

### **Pro dosažení vytčených cílů jsou využívány následující prostředky:**

- osobní zkušenosti z dosavadní téměř třicetileté projekční praxe
- znalosti získané z rešerší odborné literatury na dané téma a problematiku obvodových plášťů s provětrávanou mezerou obecně
- pochopení procesů, které se odehrávají uvnitř konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou ve standardních okrajových podmínkách
- běžně dostupné softwarové vybavení, používané v běžné projekční praxi: K-CAD, spol. s r.o. – Mezera 2017, Teplo 2017, Fotovoltaika 2017.
- podrobnější klimatická data zakoupená od Odboru klimatologie ČHMÚ referenční klimatický rok pro území Praha 11 – Roztyly (Obec: Praha 554 782, KÚ: Chodov 728 225)

- technologické předpisy a materiálové charakteristiky jednotlivých použitých komponentů výpočtového modelu konstrukce.

### **A.2.3/ Důvody volby cílů**

Provětrávané fasády v dnešní době tvoří po boku klasických vícevrstevných kontaktních skládaných systémů a montovaných lehkých obvodových plášťů výrazný segment v návrzích a realizaci obvodových plášťů pozemních staveb. Je to obecně dáno jednak vývojem stále se zvyšujících tepelně-technických požadavků, vedoucích k aktuálním konstrukcím obvodových plášťů energeticky soběstačných staveb, ale i širokým spektrem materiálových a skladebných řešení z hlediska architektonických požadavků.

Konstrukce provětrávaných fasád se v běžné projekční praxi navrhují převážně na základě empirických zkušeností projektanta, samozřejmě při respektování aktuálních legislativních požadavků tepelně technických, akustických, požadavků požární bezpečnosti a požadavků mechanické odolnosti a stability, ale také s přihlédnutím k maximálnímu možnému snížení investičních nákladů na realizaci navržené konstrukce.

Tento způsob návrhu je ve velké většině úspěšný, navržená konstrukce splňuje legislativní požadavky a je realizována s optimalizovanými investičními náklady. Mezi návrhem projektanta a vlastní realizací stojí zhotovitel konstrukce, který konstrukci přizpůsobí svým zvyklostem a komponentům, jež zamýšlí zabudovat. Zhotovitel předkládá k odsouhlasení dílenskou dokumentaci (je-li tato požadována), nebo pouze vytyčí zásady realizace konstrukce v Technologickém postupu, který většinou doplní jednoduchými schémata typových detailů. Na hlubší zkoumání navrhované konstrukce většinou není čas a téměř nikdo jej v běžné projekční praxi neprovádí. Řešení případných reklamačních případů je pak problematické, dochází při něm k přenosu zodpovědnosti mezi jednotlivými subjekty projekčního procesu a většina reklamačních kauz nakonec skončí vzájemnou dohodou všech účastníků a opravou konstrukce ze strany zhotovitele.

Příkladem nepřihlédnutí ke zdánlivě nepodstatným detailům v rámci návrhu a realizace obvodového pláště s provětrávanou mezerou může být i následující ilustrativní případ:



*Obr. 3 - Poruchy vnějšího obkladu lamelami vysokotlakého laminátu s viditelnými plochami zvlhnutí některých lamel Zdroj: fotoarchiv autora*

Jedná se o západní fasádu jednoho administrativního objektu v Praze. Parapetní pásy jsou navrženy a provedeny jako obvodový plášť s provětrávanou mezerou, jako dvouplášťová konstrukce, vnější plášť je tvořen velkoplošným obkladem konglomerovanými deskami z vysokotlakého laminátu Trespa. V ploše fasádního obkladu jsou jasně patrné tmavší skvrny jasně detekující vliv vlhkosti a vody (Obr. 3). Rozsah těchto skvrn je větší v plochách zastíněných „kšiltem“ bočních stěn. O důvodech, proč k takovému porušení došlo, se lze dohadovat, vlhkost evidentně prostupuje materiálem obkladové desky. Možná příčina bude pravděpodobně výsledkem kombinace těchto vlivů:

**1/** Na zadním líci obkladu pravděpodobně dochází ve vybraných časových úsecích ke kondenzaci vodní páry difundující stavební konstrukcí a bilance zkondenzované páry je v takové míře negativní, že přirozený proces větrání vzduchové mezery nestačí zkondenzovanou vlhkost odvětrat, ať již v důsledku nedostatečného proudění vzduchu v mezeře v důsledku malé výšky konstrukce (jedná se o parapetní pás), v důsledku nižší insolace plochy obkladu (západní fasáda a boční předsazené konstrukce „kšiltu“), v důsledku vřazených odporů, nebo kombinací více vlivů dohromady.

**2/** Západní fasáda je vystavena převládajícímu směru srážek a větru, hydrodynamické namáhání fasádní konstrukce je velké, do konstrukce obvodového pláště vniká velké množství srážkové vody, která není dostatečným způsobem odvedena.

**3/** Projevy poruchy mohou však být i kombinací obou výše popsaných vlivů dohromady.

**I výše uvedené důvody mě vedly k volbě cílů, tedy prozkoumat:**

- míru výskytu kondenzace difundující vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou a uvnitř větrané mezery této konstrukce v rozdílných časových úsecích dne v zimním období
- rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na případný výskyt kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště a v prostředí větrané mezery této konstrukce v rozdílných časových úsecích dne v zimním období
- další případné dopady oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na prostředí a funkci větrané mezery a konstrukce obvodového pláště jako celku.

### **A.3/ ROZDĚLENÍ A VÝVOJ KONSTRUKCÍ OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ**

#### **A.3.1/ Základní dělení konstrukcí obvodových plášťů**

Z konstrukčního hlediska lze jednotlivé konstrukční typy obvodových plášťů rozdělit takto:

- jednovrstvé „homogenní“ konstrukce obvodových plášťů
- přechodová varianta víceplášťové konstrukce obvodového pláště se vzduchovou mezerou nenapojenou na vnější / vnitřní prostředí
- kompaktní vrstvené sendvičové konstrukce obvodových plášťů
- dvouplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou jako difúzně otevřené konstrukce
- lehké obvodové pláště na metalicko-chemické nebo přírodní bázi
- dvojité fasády
- novodobé konstrukce obvodových plášťů (např. aktivní fotovoltaické fasády, vegetační zelené fasády apod.).

**Každá z těchto konstrukcí má své charakteristické vlastnosti, vyplývající z historie vývoje stavební techniky a stavební fyziky. Vývoj konstrukcí obvodových plášťů probíhal v podstatě dvěma cestami:**

**1/ První linií byla cesta zlepšování kvalitativních charakteristik stavebních materiálů používaných pro realizaci konstrukcí obvodových plášťů:**

- tato linie se uplatňovala jak ve vývoji klasických obvodových plášťů realizovaných vyzdíváním z kusových staviv, tak v následném vývoji tepelně izolačních materiálů tzv. nového typu, které následně vedly k realizaci obvodových plášťů na způsob kombinace materiálů a jejich vrstvení

- Tepelně-technické vlastnosti čistého obvodového zdiva brzy přestaly vyhovovat běžnému použití, v druhé polovině 20. století začaly být vyvíjeny tepelně izolační tvarovky, splňující tehdejší tepelně-technické požadavky. Dochází k poznání, že tloušťka zdiva není dána pouze na základě požadavku statického – únosnosti zdiva, ale závisí také na tepelně-technických požadavcích vztažených na konstrukci obvodové stěny.

- Mnoho stavebních materiálů, které vyhovují na pevnost a únosnost (např. kámen, prostý beton, železobeton, hutný keramický střepek atd.) jsou ale dobrými vodiči tepla. Proto při svém použití v obvodových konstrukcích nemohou plnit tepelně-izolační funkci bez toho, že by docházelo k neúměrnému zvětšení celkové tloušťky obvodové konstrukce, což má vliv na úbytek užité plochy, neboť stěnové konstrukce mají větší nárok na zastavěnou plochu.

**2/ Druhou linií tvoří cesta kombinace různých materiálů a jejich vrstvení, kdy dochází k oddělení funkce statické pro nosnou konstrukci obvodových plášťů a jejího doplnění o vrstvy řešící funkci tepelně izolační. Tato linie následně vede k realizaci sendvičových konstrukcí, ať již kontaktních konstrukcí, kdy se jedná o kompaktní souvrství, nebo k realizaci obvodových plášťů, kdy se vybrané vrstvy začínají oddělovat od sebe navzájem.**

- Tepelně-izolační funkci plní materiály porézní nebo vrstvy tepelné izolace aplikované na vnějším povrchu nosné konstrukce.

- Tak dochází k realizaci vrstvených obvodových plášťů, při jejichž navrhování byla dodržována jednoduchá konstrukční zásada: tepelný odpor vrstev řazených směrem z interiéru do exteriéru má růst a jejich difúzní odpor klesat.

- Aplikace této jednoduché zásady pak vede k eliminaci kondenzace vodních par uvnitř konstrukce, obvodová stěna dobře akumuluje teplo, vyrovnává teplotní rozdíly mezi interiérem a exteriérem a způsobuje fázový posun mezi teplotní amplitudou v exteriéru a ve vnitřním

prostředí, nicméně požadavek na klesající difúzní odpor směrem k exteriérové straně konstrukce výrazným způsobem omezuje výběr materiálů majících vliv na architektonické a estetické působení obvodového pláště. Většina materiálů splňujících estetické požadavky má však vysoký difúzní odpor a vysokou tepelnou vodivost a působí tak nepříznivě na celkový tepelně – vlhkostní stav konstrukce obvodového pláště jako celku. Na základě poznání zákonitostí stavební fyziky a tepelné techniky tak dochází k oddělení povrchové vrstvy fasády řešící estetiku a architektonický výraz od vrstev podkladních a funkčních z hlediska statiky a z hlediska tepelně izolačního. Vzniká tak dvouplášťová difúzně otevřená konstrukce, kdy je mezi vnější plášť a vnitřní plášť vkládána provětrávaná vzduchová mezera napojená na vnější prostředí. Tato konstrukce je předmětem předkládané práce.

Samostatnou linii vývoje obvodových plášťů staveb pak tvoří lehké obvodové pláště na metalicko-chemické nebo přírodní bázi, jež se dále vyvíjejí do novodobých konstrukcí lehkých obvodových plášťů, dvojitých fasád apod. Tyto typy obvodových plášťů nejsou předmětem předkládané práce.

### **A.3.2/ Jednovrstvá homogenní konstrukce obvodového pláště**

Pro rozvoj architektury a stavitelství hrála dominantní roli bezpečnost a obranyschopnost sídel, která dává možnost rozvoji monumentálních staveb fortifikačních, palácových, klášterních a sakrálních. Tyto typy staveb dále ovlivnily technologii stavitelství na dlouhou dobu dopředu. Nejčastěji využívanými stavebními materiály se v důsledku toho stávají kusová staviva – kámen a cihla, které na našem území zakládají dlouhodobou tradici, byť nejsou z dnešního energetického pohledu zcela vhodné pro naše klima. Tento rozvoj architektury a stavitelství zákonitě vede k energeticky velmi náročnému výrobnímu procesu nejen ve vlastní konstrukci obvodových plášťů, ale i v oblasti zakládání staveb, získávání a zpracování stavebních materiálů a při vlastním užívání a provozu staveb.

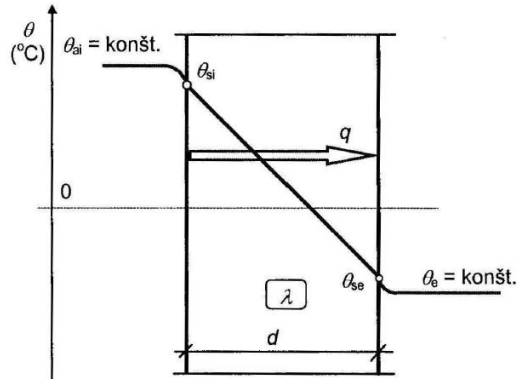
Oproti prehistorickým konstrukcím tak vzniká obvodový plášť, který lze systematicky zařadit jako **jednovrstvou homogenní konstrukci**, realizovanou jako zděnou konstrukci z kusových staviv. Tento typ obvodového pláště se stává dominantní konstrukcí obvodových plášťů staveb ještě i na přelomu 19. a 20. století.

Nejčastější způsob výstavby v tomto časovém období byl stěnový systém z masivního nosného zdiva. Již na přelomu 19. a 20. století se však projevuje snaha o oddělení funkce nosné a výplňové, a to např. kombinací zdících materiálů u nosných pilířů z cihel a malt vyšších pevností a výplňového zdiva z cihel s lepšími izolačními vlastnostmi např. v oblasti parapetních částí výplňových otvorů.

Obvodové pláště starších domů byly realizovány ze smíšeného zdiva z cihel a lomového kamene. Později se kámen používal jen na podružné konstrukce, např. na suterénní části staveb. V nadzemních částech staveb byl pak obvodový plášť vyzdíván z plných pálených cihel. Tloušťky stěn byly proměnné a lišily se podlažností staveb. Jako ekvivalent nejmenší možné tloušťky obvodového zdiva nejvyššího podlaží z důvodu promrzání byla používána minimální tloušťka zdiva 450 mm z cihel plných pálených a směrem dolů se zvětšovala s ohledem na statiku obvodové stěny a její vazby na vodorovné nosné konstrukce. Základní rozměry stěn se řídily ustanoveními stavebních řádů.

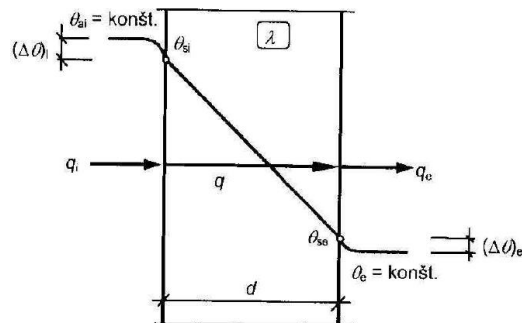
Nejstarším a nejpoužívanějším kusovým stavivem byla pálená keramika ve formě různých cihel, tvárnic a zdících prvků různých tvarů. Nejpoužívanějším materiálem byla klasická plná pálená cihla, jejíž součinitel tepelné vodivosti se dle objemové hmotnosti pohyboval okolo hodnoty  $\lambda=0,65$  W/mK. Hodnota součinitele tepelné vodivosti klasického zdiva z plných pálených cihel se pak dle použitých malt a dosažených hodnot praktické vlhkosti zdiva pohybovala v hodnotách  $\lambda=0,8$  až  $0,86$  W/mK. Onen ekvivalent tloušťky zdiva min.450 mm z cihel plných odolný proti promrzání byl výsledkem empirických zkušeností a stal se dlouhodobým standardem tepelně technických vlastností obvodové stěny na našem území. Další vlastnosti konstrukce se nehodnotily, uvedený ekvivalent se z dnešního pohledu vztahoval pouze na hodnotu tepelného odporu obvodové stěny, který se pohyboval v referenčních hodnotách  $R=0,52$  až  $0,56$  m<sup>2</sup>K/W.

Tyto jednovrstvé homogenní konstrukce obvodových plášťů se z hlediska stavení fyziky a tepelné techniky vyznačují charakteristickým průběhem rozložení teplot a tlaků vodní páry. Předpokládán je ustálený teplotní stav, jednovrstvá homogenní konstrukce odděluje vnější a vnitřní prostředí, dochází k tepelnému toku od vyšší teploty k teplotě nižší. Teploty v jednotlivých bodech konstrukce jsou pouhou funkcí polohy těchto bodů uvnitř konstrukce (Obr. 4). Hustota tepelného toku, který přes konstrukci projde, je přímo úměrná rozdílu teplot a závisí na tepelně technických vlastnostech konstrukce. V zimním období za předpokladu  $\theta_{ai} > \theta_e$  je průběh tepelného toku z interiéru do exteriéru. Vnitřní povrchová teplota konstrukce  $\theta_{si} < \theta_{ai}$ , vnější povrchová teplota je  $\theta_{se} > \theta_e$ .



Obr. 4 - Schématické znázornění charakteristického průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.52

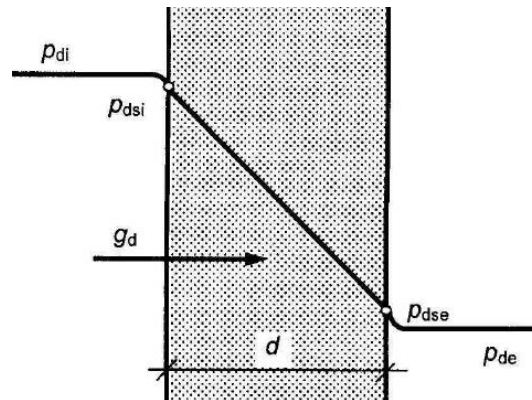
Na obou stranách konstrukce pak dochází k přestupu tepla mezi povrchem konstrukce a okolním vzduchem. K přestupu nedochází za předpokladu vyrovnání teploty povrchu a teploty okolního vzduchu. Na vnitřní straně konstrukce dochází k přestupu tepla vlivem přirozeného proudění vzduchu a sálání v důsledku výměny tepla obvodové konstrukce a ostatních stavebních konstrukcí. Na vnější straně pak v důsledku proudění vzduchu vlivem větru a sáláním povrchu konstrukce a oblohou, popřípadě sousedními budovami a přilehlým terénem. Přestup tepla je pak charakterizován součinitelem přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $h_{si}$  ( $W/m^2K$ ) a součinitelem přestupu tepla na vnější straně konstrukce  $h_{se}$  ( $W/m^2K$ ), jejichž hodnoty závisí na teplotě vzduchu a teplotě povrchu konstrukce, drsnosti povrchu, pohltivosti tepelného záření konstrukce, rychlosti a směru proudění vzduchu a směru tepelného toku. Ve skutečnosti jsou jejich hodnoty proměnnými, při výpočtech se však používají normalizované konstantní hodnoty charakteristické pro typické stavy. V důsledku přestupu tepla se pak charakteristický průběh teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí mírně mění (Obr. 5):



Obr 5 - Schématické znázornění průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště s vlivem přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s. 59

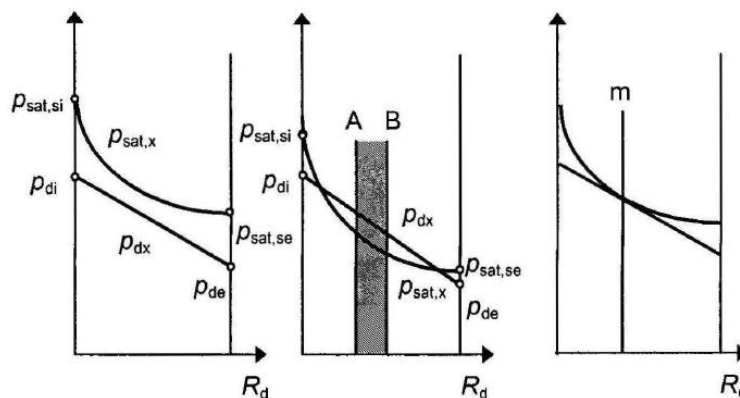


Analogickým jevem průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí je pak i jev difúze vodních par, která probíhá v důsledku rozdílu parciálních tlaků vodní páry na obou stranách konstrukce. Vodní pára difunduje z prostředí s vyšším parciálním tlakem do prostředí s tlakem nižším a ve směru tepelného toku. V zimním období tedy z interiéru do exteriéru. Jedná se o analogický jev s prostupem tepla, zjednodušeně lze konstatovat, že všechny zásady platící pro tepelnou vodivost platí i pro difúzi vodních par a charakteristický průběh difúze vodních par lze zobrazit obdobným způsobem (Obr. 6):



Obr. 6 - Schématické znázornění průběhu difúze vodních par jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště s vlivem přestupu vodní páry na vnitřní a vnější straně konstrukce Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.180

Za určitých podmínek může uvnitř konstrukce dojít ke kondenzaci difundující vodní páry. Ke kondenzaci dojde v případě, že parciální tlak vodní páry v místě  $x$   $p_{dx} > p_{sat,x}$  parciální tlak nasycené vodní páry (Obr. 7).



Obr. 7 - Schématické znázornění průběhu parciálních tlaků vodní páry jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště bez kondenzace a s kondenzací Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.181

Případný vznik kondenzace vodních par uvnitř stavební konstrukce pak může být příčinou kolizních jevů. Ke kondenzaci může docházet nejčastěji v povrchových vrstvách konstrukce nebo na přechodech mezi jednotlivými materiály (jednovrstvá homogenní konstrukce jako taková neexistuje, konstrukce zděná z kusových staviv je aglomerovanou konstrukcí složenou jak z vlastních zdících prvků a pojiva / malty, tak jsou její povrchy omítány).

### **A.3.3/ Vývojová větev oddělení plášťů jednovrstvé homogenní konstrukce**

Tepelně-technické vlastnosti čistého obvodového zdiva ale brzy přestaly vyhovovat běžnému použití. Po druhé světové válce dochází k zúžení sortimentu používaných zdících prvků kusových staviv. Těžiště nadále zůstává v používání plných pálených cihel, dutinových tvárnic a tvárnic z lehčených betonů, nejčastěji ze škvárobetonu a tvárnic ze struskové pemzy. Vznikají první typizované zděné bytové domy, např. tzv. „dvouletky“.

V polovině 20. století dochází k poznání, že tloušťka zdiva není dána pouze na základě požadavku statického – únosnosti zdiva, ale závisí také na tepelně-technických požadavcích vztažených na konstrukci obvodové stěny. Tyto postupy, realizované u ploch výplňového zdiva, se však i nadále řídily oním ekvivalentem minimální tloušťky zdiva z plných pálených cihel 450mm, resp. zdivo nejčastěji z dutých cihel nebo tvárnic (keramických i z lehčených betonů) muselo z hlediska jeho tepelně izolační schopnosti odpovídat vlastnostem stěny z cihel plných pálených tloušťky 450 mm.

K vylehčení zdiva a zlepšení jeho tepelně izolačních vlastností se kromě používání materiálů s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi využívaly např. i různé vazby zdiva. Dutiny ve zdících prvcích tak vytvářely buď průběžné kanálky, nebo izolované komůrky. K vylehčování zdiva obvodových plášťů se při současném zachování jeho tepelně izolačních vlastností řešilo i vkládáním vzduchových dutin nenapojených na vnitřní či vnější prostředí. Tloušťka takových vzduchových dutin byla obvykle na čtvrt nebo na půl cihly a dutiny zůstávaly buď prázdné (jako vzduchové dutiny) nebo se zasypávaly např. škvárou. Tak vzniká **víceplášťová konstrukce obvodového pláště**, ve které dochází k oddělení jednotlivých plášťů vzduchovou mezerou prozatím však nenapojenou na vnitřní ani vnější prostředí. Jako u každé vrstvené konstrukce, i u těchto prvních víceplášťových konstrukcí je rizikovým jevem problém kondenzace difundující vodní páry, a to jak v jejích vrstvách povrchových, tak na rozhraní jednotlivých materiálů. V tehdejší době jsou však znalosti principů stavební fyziky prakticky neznámé, takže nejsou

tato rizika a z nich vyplývající kolizní stavy analyzovány a řešeny.<sup>4</sup> Paralelně s vývojem konstrukcí obvodových plášťů tak dochází k vývoji tepelně technických vlastností konstrukcí (Tab. 1 až 3):

Časové období	Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U
		W/(m <sup>2</sup> .K)
Do roku 1920	– zdivo smíšené z cihel a kamene v různém poměru a v různých tloušťkách	1,6 až 1,1
	– zdivo z plných pálených cihel v tl. 450 mm	1,4
	– zdivo z plných pálených cihel v tl. 600 mm	1,1
	– zdivo z plných pálených cihel v tl. 900 mm	0,8

*Tab. 1 - Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce nosných obvodových stěn staveb do roku 1920 Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.162*

Časové období	Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U
		W/(m <sup>2</sup> .K)
1921–1945	– zdivo z děrovaných cihel a tvárnic v tloušťkách 200 až 300 mm	1,0 až 1,4
	– zdivo z tvárnic z lehkých betonů v tloušťkách 250 až 300 mm	1,1 až 1,5
Po 1945	– v poválečném období zdivo z děrovaných cihel a tvárnic v tloušťkách 250 až 500 mm	1,6 až 0,8
	– v poválečném období zdivo z tvárnic z lehkých betonů v tloušťkách 250 až 400 mm	1,6 až 0,8

*Tab. 2 - Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce obvodových stěn staveb od roku 1921 do roku 1945 Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.163*

Časové období	Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U
		W/(m <sup>2</sup> .K)
Po 1945	v poválečném období zdivo z děrovaných cihel a tvárnic v tloušťkách 250 až 500 mm	1,6 až 0,8
	v poválečném období zdivo z tvárnic z lehkých betonů v tloušťkách 250 až 400 mm	1,6 až 0,8
1961–1980	zdivo z porobetonu tl. cca 300 mm	1,3 až 1,5
	keramický panel tl. 250 až 300 mm bez tepelné izolace	1,6 až 1,9
	železobetonový panel sendvičový tl. 190 až 240 mm	1,0 až 1,1
Po roce 1980	zdivo z porobetonových tvárnic tl. 400 mm	0,7
	panel z lehkého betonu tl. cca 350 mm	0,9
	keramický panel tl. 300 mm s tepelnou izolací	0,8
	železobetonový panel sendvičový tl. cca 300 mm	0,6

*Tab. 3 Orientační tepelné technické parametry pro konstrukce obvodových stěn staveb po roce 1945 Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.164*

<sup>4</sup> BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3. s.162-165

### **A.3.4/ Kompaktní vícevrstvé konstrukce obvodových plášťů**

#### **A.3.4.1/ Panelová výstavba**

Vícevrstvé konstrukce obvodových plášťů jsou typickými konstrukcemi panelové výstavby. První panelové domy vznikaly mezi světovými válkami v Holandsku, Německu a ve Francii. Byly považovány za levné sociální bydlení a v západní Evropě se stavěly cca do sedmdesátých let. V zemích bývalého východního bloku se panelová výstavba velmi rozšířila. Panelová sídliště se stávala chloubou socialismu, prefabrikace probíhala mimo oči veřejnosti, výstavba byla ve srovnání s původními zděnými konstrukcemi z kusových staviv velmi rychlá. První panelové domy v ČR byly postaveny v roce 1956, obrovský rozmach začal na konci 50. let a přetrvával až do let devadesátých. Panelové domy byly navrhovány na životnost kolem 30 – 40 let, ale po revitalizaci mohou sloužit další desítky let. Obvodový plášť panelových domů (parapetní panely, lodžiové panely a panely štítových stěn) byl tvořen jednak jednovrstvými panely z různých typů lehčených betonů tl.270mm, nebo vrstvenými panely ve skladbě nosná železobetonová vrstva 150mm – uzavřená vzduchová mezera 15mm – vnější plášť z keramzitbetonu tl.200mm, nebo kompaktními sendvičovými panely ve skladbě: nosná železobetonová vrstva tl.150mm – tepelně izolační vrstva – betonová krycí vrstva tl.70mm. Do roku 1979 se používala tloušťka tepelné izolace 40 mm, po roce 1979 tl. 80 mm.<sup>5</sup>

Materiálem tepelné izolace byly desky z pěnového polystyrenu, později desky z minerálních rohoží. Oba železobetonové pláště byly přes vrstvu tepelné izolace propojeny nerezovými sponami. Doplňkovými částmi obvodového pláště pak byly neprůsvitné a neprůhledné části ploch výplní otvorů – meziokenní vložky.

V obálce budovy bylo velké množství tepelných mostů (v oblasti styku panelů obvodového pláště, nebo v návaznosti stropních konstrukcí na konstrukce obvodových stěn. Energetická náročnost panelových domů před revitalizací a aplikace úsporných opatření souvisí s jejich konstrukcí a celkovým řešením, přičemž významným faktorem je období vzniku panelového domu. Zásadním milníkem je rok 1979, kdy byla revidována tepelně technická norma ČSN 73 0540. Před touto novelizací lze odlišit sendvičové panely s vyšší kvalitou a panely z lehčeného betonu, jež měly horší kvalitu z hlediska tepelné techniky. Po novelizaci normy byly odchylky poměrně malé, konstrukce lze tedy z hlediska tepelné techniky považovat za podobné. Pro srovnání kvality panelové výstavby z hlediska energetické náročnosti byla společností EkoWATT provedena analýza sledované veličiny měrné potřeby tepla na vytápění EA (kWh/m<sup>2</sup>.a), která určuje kvalitu

---

<sup>5</sup> BÁČOVÁ, Marie. *Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty*. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3. s.88-101

stavebního řešení konkrétní konstrukční soustavy a její vliv na následnou energetickou náročnost (Tab. 4):<sup>6</sup>

Stavební soustava	Hodnoty pro obestavěný prostor 200 m <sup>3</sup>
	potřeba tepla (MWh)
	původní řešení
T06 B KV západočeská	12,3
T06 B – Vč východočeská	9,54
T06 BD – 78 severočeská	10,74
T06 B – OL severomoravská	10,7
T06 B – KDU jihomoravská	9,27
T06 B – PSBU jihomoravská	9,38
T08 B – 78 severočeská	9,59
OP 1.11 ČSR	9,77
VVÚ ETA Praha	8,1
B70/R jihomoravská	8,99

*Tab. 4 - Potřeba tepla na vytápění vybraných stavebních soustav panelových bytových domů Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. *Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty*. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.162*

Jako u každé vrstvené konstrukce, je i u těchto kompaktních vícevrstevných konstrukcí obvodových plášťů rizikovým jevem problém kondenzace difundující vodní páry, a to nejen v jejích vrstvách povrchových, tak na rozhraní jednotlivých materiálů. Nosnou vrstvou obvodového pláště panelových domů je však železobeton, který vykazuje vyšší hodnoty difúzního odporu, Problematika kondenzace se tak úzce pojí s problematikou vnitřních povrchových teplot a s existencí bodových systémových tepelných mostů (propojení vnitřního a vnějšího pláště, spoje panelů mezi sebou, spoje sendvičových panelů obvodového pláště a panelů vodorovných nosných konstrukcí apod.).

## **Problematika provozní energetické náročnosti panelových bytových domů na konci 80. let 20. století**

Vývojem energetické náročnosti budov v souvislosti s novelizací tepelně-technických norem se zabývala i řada prací v 2. polovině 80. let minulého století, kdy byly stanoveny požadavky na racionalizaci spotřeby paliv a energií v bytové výstavbě.<sup>7</sup> V tehdejší době byla důležitým

<sup>6</sup> BÁČOVÁ, Marie. *Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty*. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3. s.102

<sup>7</sup> VIKTORA, Jiří. *Energetická optimalizace při rekonstrukci a modernizaci obytných panelových objektů*. Praha, 1985. Kandidátská práce oboru Teorie konstrukcí pozemních staveb. ČVUT Fakulta stavební.

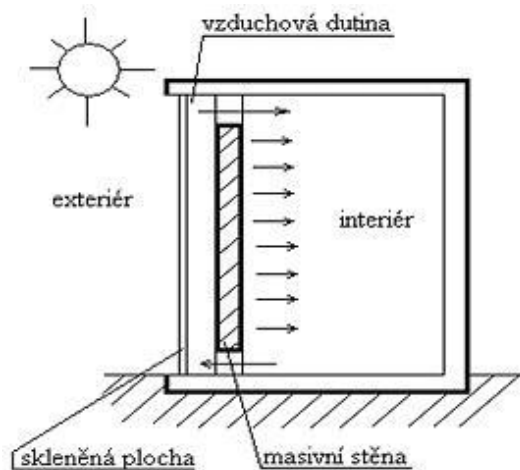
spotřebitelem energetických zdrojů bytová výstavba, a to jak z pohledu vlastní investiční náročnosti výstavby samé, tak následnou spotřebou při užívání a provozu budov. V souvislosti s opatřeními ke snižování provozní energetické náročnosti (PEN) docházelo k revizím norem – např. v revizi ČSN 73 0540 z r.1984 výrazně vzrostly nároky na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla svislých stěnových konstrukcí a plochých střech, ale byla zde také stanovena požadovaná hodnota spotřeby energie na vytápění  $EN=9,3\text{MWh/byt/rok}$  (vztažená k tepelným ztrátám stanoveným pro teplotu vnějšího vzduchu  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ ). Tato hodnota však nebyla považována za konečnou, na základě vyhlášení státního cílového programu O2 Racionalizace spotřeby a využití paliv a energie měla být od r.1991 dále snížena na hodnotu  $6,5\text{MWh/byt/rok}$  (tedy dále snížena téměř o 1/3) a tak bylo předpokládáno, že musí dojít k rekonstrukcím a modernizaci již vybudovaných bytových domů, že ročně bude muset dojít k tepelné úpravě v řádu 100.000 bytových jednotek a bylo rozmyšleno, jakým způsobem má k těmto úpravám dojít.<sup>8</sup>

Byly provedeny analýzy poměrného rozdělení tepelných ztrát budovy – tedy rozdělení tepelných ztrát v budově dle jednotlivých typů konstrukcí a obvodové stěny, resp. jejich neprůsvitné části, byly vyhodnoceny jako nositel cca 1/3 výše celkových tepelných ztrát konstrukcí budov.

V souvislosti se snižováním tepelných ztrát stavebních konstrukcí byla tedy věnována pozornost dodatečným tepelným izolacím prováděným na stávajících obytných domech, přitom důraz měl být kladen především na zateplování panelových obytných budov – tedy fenomén, jež je znám i v současnosti, a který se v dnešní době stává takřka většinou aplikací kontaktních zateplovacích systémů ETICS (External Thermal Insulation Composite System). V druhé polovině 80. let minulého století byla aplikace kontaktního zateplování ETICS kapitolou z říše sci-fi (vědecké práce a odborný tisk sice již na konci 70. let referovaly o fenoménu izolačních dvojskel a trojskel v tehdejší NSR, nebo o experimentální výstavbě se sníženou spotřebou energie ve Velké Británii s využitím pasivního solárního zařízení tzv. Trombeho stěny – hmotné akumulční stěny s tmavým povrchem, instalované za proskleným jižním pláštěm budovy a zahříváné tak skleníkovým efektem – kdy posuzováním nákladů na vytápění budov s tzv. obyčejnou izolací a budov experimentálních – tedy s onou Trombeho stěnou – po dobu 3 let (1978-1981) bylo prokázáno, že experimentální budovy s Trombeho stěnou vykazovaly poloviční energetickou náročnost/spotřebu energie na vytápění za rok), a to jak z důvodů investičních, ale hlavně z důvodů úrovně tehdejší stavební techniky obecně, natož stavební technicky v tzv. východním bloku. Bylo tedy nutno dát se cestou jiných konstrukčních úprav.

---

<sup>8</sup> VIKTORA, Jiří. *Energetická optimalizace při rekonstrukci a modernizaci obytných panelových objektů*. Praha, 1985. Kandidátská práce oboru Teorie konstrukcí pozemních staveb. ČVUT Fakulta stavební.



Obr 8 Schéma funkce Trombeho stěny jako pasivního solárního prvku Zdroj: web

Z pohledu stavební fyziky, jejíž základní principy jsou platné dodnes, bylo zjištěno, že v souvislosti s aplikací dodatečné tepelné izolace je podstatný vliv šíření vlhkosti stavebními konstrukcemi, tedy provázanost tepelné vodivosti a vlivu vlhkosti, zjednodušeně dle základního principu „čím je materiál vlhčí, tím je tepelně vodivější“. Mělo být zabraňováno pronikání vlhkosti do stavebních konstrukcí, z čehož vyplynula výhodnější aplikace tzv. suchých procesů výroby stavební konstrukce.

Bylo zjištěno, že tehdejšími požadovanými parametry ČSN 73 0540 vyhovují pouze panely sendvičového typu s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu tl. 50-80 mm.<sup>9</sup>

Bylo správně vyhodnoceno, že správnou cestou je aplikace dodatečného zateplování objektů, jež mělo jak svou historii, tak své reálné příčiny. Již v 60. letech minulého století se objevily tzv. hygienické závady u některých panelových objektů řady G40 až G57 – vlhnutí, plesnivění nebo celkové prochlazení vnitřních prostor. Z tohoto důvodu se pak tepelně upravovaly zvláště štítové těchto budov – většinou jednoduchou aplikací přízdívky ze škvárobetonových tvárnic s omítkou – tedy cestou zvětšení tloušťky obvodové konstrukce (štítové stěny) (Obr. 9):

<sup>9</sup> VIKTORA, Jiří. *Energetická optimalizace při rekonstrukci a modernizaci obytných panelových objektů*. Praha, 1985. Kandidátská práce oboru Teorie konstrukcí pozemních staveb. ČVUT Fakulta stavební.





*Obr. 9 Zateplení fasády bytového domu Praha 9 - Hloubětín. Stav po sejmutí vnější přízdívky ze škvárobetonových tvárnic.*

Prudký obrat ve vývoji dodatečného zateplování nastal začátkem 70. let, kdy byly v řadě západoevropských zemí na základě tzv. 1. energetické krize objeveny dodatečné tepelné izolace tzv. nového typu a nové funkce. Nový rozvoj dodatečných tepelných izolací neměl již za hlavní cíl pouze odstranit případné hygienické závady, ale šlo především o zvýšení celkového tepelného odporu obvodové konstrukce jako celku, nebo alespoň v jejích nejexponovanějších částech s cílem jednoznačně snížit náklady na vytápění budov.

Nový rozvoj technologií dodatečných izolací však sebou často přinášel i negativní zkušenosti. Při hledání správných aplikačních postupů bylo třeba zodpovědět četné otázky, např. zda izolovat z vnitřní nebo z vnější strany konstrukce, zda používat materiály organické, nebo anorganické, kde je vůbec míra hospodárnosti dodatečných tepelných oprav budov, jak co nejvíce industrializovat provádění dodatečných tepelných izolací s možností celoročního provádění stavebních prací, problematika provázanosti snižování energetické náročnosti neprůsvitných konstrukcí obvodového pláště s prostupem tepla okny a infiltrací spárami oken a dveří v obvodových pláštích, apod., tedy otázky, jež si v mnohém klademe dodnes, nicméně v atmosféře jiných energetických požadavků a výzev a v době řádově jiné výše vývoje stavební techniky a znalostí a analytického hodnocení jevů stavební fyziky.

**Z poznatků tehdejších analýz bylo v r.1985 vyvozeno, že nejvhodnější úpravou provedení dodatečné izolace obvodové konstrukce je vytvoření konstrukce vrstveného obvodového**



**pláště s provětrávanou vzduchovou mezerou.**<sup>10</sup> Při respektování charakteristických rysů obytných panelových domů (např. ne zcela rovný povrch štitových a obvodových panelů, posunutí rovin dvou sousedních panelů na jejich styku, železobetonová krycí pohledová vrstva x tehdejší kotevní technika, apod.) probíhalo v omezené míře dodatečné zateplování panelových budov cca od roku 1975 až 1978 (ve větší míře se uplatnily objekty řady G, T06B a T08B), a to různými formami, kde byly vedle prvních tepelněizolačních omítek, pórobetonových přízdívek s tradiční omítkovou/stěrkovou úpravou na svém líci, ale hlavně na způsob jednoduchých vrstvených konstrukcí s provětrávanými mezerami, byť ne zcela klasické provětrávané fasády tak jak ji známe dnes, jako např.:

**a/ Zateplení deskami z minerální plsti finálně krytými fasádním obkladem FOS300, FOS125, nebo FOS75:** do kovového roštu tvořeného z paždíků z ocelového pozinkovaného plechu a hliníkových sloupků byly nerezavějícími šrouby připevněny tepelně izolační desky z minerální plsti tl.40-60 mm. Obklad byl uzavírán lamelami vkládanými buď do sloupků (FOS300) nebo naklapávanými do prolisů v paždících (FOS75 a 125). Mezery mezi lamelami obkladu FOS byly uzavírány krycí lištou. Lemování okolo okenních otvorů, prostupů a ukončení bylo řešeno oplechováním z různě tvarovaných lakovaných hliníkových plechů.<sup>11</sup>

**b/ Zateplení deskami pěnového polystyrenu finálně krytými fasádním obkladem hliníkovými plechy KOB1002:** na dřevěný nebo kovový rošt zakotvený k podkladu je nerezavějícími šrouby připevněn pěnový polystyren tl.20-50 mm. Zakrytí je provedeno hliníkovými trapézovými plechy KOB1002 tl.0,8mm formátu 850/2000 mm se smaltovaným povrchem kotvenými hliníkovými šrouby k roštu.<sup>12</sup>

**c/ Zateplení tepelnou izolací s obkladem azbestocementovými deskami:** do impregnovaného dřevěného roštu z osnovy svislých prken a mezilehlých latí kotveného k podkladu pomocí hmoždinek byla vkládána tepelná izolace ze skelných vláken Fibrex, bodově kotvena pomocí PVAc disperze a nerezavějících šroubů do dřevěných latí. Svislé spáry byly proloženy pásy z mikroporézní chloroprenové pryže, vodorovné spáry byly opatřeny okapničkami z hliníkového plechu, jež zároveň vytvářely distanci pro osazení vnějšího obkladu z azbestocementových desek

---

<sup>10</sup> VIKTORA, Jiří. *Energetická optimalizace při rekonstrukci a modernizaci obytných panelových objektů*. Praha, 1985. Kandidátská práce oboru Teorie konstrukcí pozemních staveb. ČVUT Fakulta stavební.

<sup>11</sup> Tamtéž

<sup>12</sup> Tamtéž

tl.6 mm, formátu 600x2000 mm hydrofobizované Lukofobem s možností finálního barevného nástřiku.<sup>13</sup>

**d/ Zateplení tepelnou izolací s obkladem azbestocementovými šablonami:** vodorovně osazené dřevěné latě byly podtmeleny trvale pružným tmelem a mechanicky připevněny k podkladu. Mezi latě byl vkládán tepelný izolant (nejčastěji pěnový polystyren tl 30-40 mm) a byla vytvořena podkonstrukce z profilovaných vodorovných a svislých lišt z pozinkovaného plechu přibíjených na spodní dřevěné latě. Na takto připravený rošt byly přibíjením aplikovány azbestocementové šablony 400x400x4mm s překryvem ve směru převládajících větrů. Alternativně byl povrch opatřen nástřikovou omítkou Monofas.<sup>14</sup>

#### **A.3.4.2/ Kontaktní zateplovací systémy ETICS**

Tyto konstrukce jsou výsledkem druhé linie vývoje obvodových pláštěů, tedy linie kombinace různých materiálů v konstrukcích obvodových pláštěů a jejich řazení na základě jednoduchého konstrukčního principu z pohledu stavební fyziky: tepelný odpor vrstev řazených směrem z interiéru do exteriéru má růst a jejich difúzní odpor klesat. Aplikace této jednoduché zásady pak vede k eliminaci kondenzace vodních par uvnitř konstrukce, obvodová stěna dobře akumuluje teplo, vyrovnává teplotní rozdíly mezi interiérem a exteriérem a způsobuje příznivý fázový posun mezi teplotní amplitudou v exteriéru a ve vnitřním prostředí. Požadavek na klesající difúzní odpor směrem k exteriérové straně konstrukce však výrazným způsobem omezuje výběr materiálů majících vliv na architektonické řešení a estetické působení obvodového pláště.

V důsledku vývoje tepelných izolací tzv. nového typu tak vznikají konstrukce obvodových pláštěů s kontaktním zateplovacím systémem aplikovaným na nosné konstrukci obvodového pláště, dnes známé pod zkratkou ETICS (External Thermal Insulation Composite System). Tento typ obvodového pláště postupně dosahuje masívního rozšíření v důsledku poměrně jednoduché aplikace jak u novostaveb, tak u zateplování obvodových pláštěů staršího stavebního fondu, ale také z důvodů ekonomických – ve srovnání s ostatními konstrukčními variantami obvodových pláštěů nadále vychází výhodněji, zejména z důvodu ceny vstupních materiálů a nižší pracnosti. Při splnění tepelně technických požadavků také zabírá menší zastavěnou plochu než klasický jednovrstvý homogenní obvodový plášť. Na druhou stranu neposkytuje z architektonického hlediska dostatečnou variabilitu a širí spektra estetického působení, výsledkem je poměrně uniformní působení obvodového pláště.

---

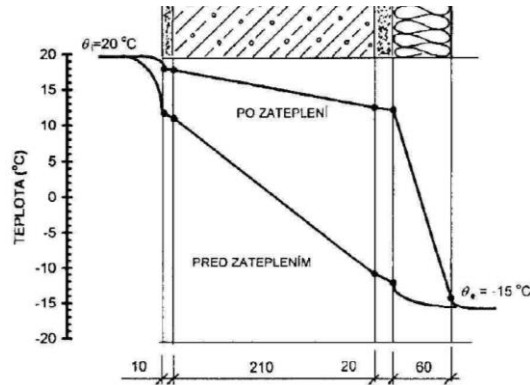
<sup>13</sup> VIKTORA, Jiří. *Energetická optimalizace při rekonstrukci a modernizaci obytných panelových objektů*. Praha, 1985. Kandidátská práce oboru Teorie konstrukcí pozemních staveb. ČVUT Fakulta stavební.

<sup>14</sup> Tamtéž

Obecným omezením architektonického výrazu takového obvodového pláště je širší barevného spektra a povrchové struktury omítkového systému, který tvoří vnější povrch fasády.

Přes všechny klady i zápory tvoří tyto konstrukce obvodových plášťů výrazný segment stavební výroby. Vzhledem k tomu, že jsou to konstrukce, které byly realizovány v západní Evropě již v 60. letech 20. století, je v dnešní době dostatek zkušeností vedoucích k jejich neustálému vývoji, ale také k jejich cyklické údržbě a renovaci. S ohledem na své stáří se staly předmětem diskusí o přístupech k jejich sanacím a rekonstrukcím.

Z hlediska tepelné techniky mají i tyto konstrukce charakteristický průběh teplot, který lze nejlépe ilustrovat na srovnávacím schématu konstrukce obvodového pláště se zateplením a bez zateplení (Obr. 10). Stejně jako jednovrstvé homogenní konstrukce obvodových plášťů popisované výše, mají i vrstvené konstrukce realizované s kontaktními zateplovacími systémy ETICS svá úskalí spočívající v udržení ideálního vlhkostního stavu v důsledku difúze vodních par. Typově se nejedná o difúzně otevřené konstrukce a bezproblémový průchod difundující páry konstrukcí obvodového pláště závisí na mnoha faktorech, vhodným materiálovým řešením konstrukce včetně povrchových úprav počínaje, kvalitou provedení a zajištěním dostatečného větrání obytných prostor konče.



Obr. 10 – Schématické znázornění charakteristického průběhu teplot konstrukcí obvodového pláště bez a se zateplením na její vnější straně Zdroj: CHMÚRNÝ, Ivan. *Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov*. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.80

Na vnitřní straně zateplené konstrukce dochází ke zvýšení povrchové teploty. Zjednodušeně lze říci, že čím vyšší je hodnota tepelného odporu konstrukce, tím vyšší je její vnitřní povrchové teplota.

Tím se ovšem mění i stav vnitřního prostředí kvalifikovaný součtovou teplotou místnosti, operativní teplotou a účinnou teplotou. Dochází ke snížení součinitele přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $h_{si}$  ( $W/m^2K$ ), což vede v případě mobiliáře rozestavěného blízko obvodových

stěn místnosti k zabránění cirkulace vzduchu a omezení sálání vnitřního povrchu stěny s povrchy ostatních stavebních konstrukcí. Snížení hodnoty hsi má za následek zvýšení hodnoty Rsi, klesá povrchová teplota stěny, ta začíná vlhnout a výsledkem může být i růst plísní na vnitřním povrchu zateplené konstrukce. K tomuto jevu dochází u konstrukcí s tepelným odporem  $R \leq 0,7 (\text{m}^2\text{K/W})$ <sup>15</sup>. Taková konstrukce se nenachází v ideálním tepelně vlhkostním stavu.



*Obr. 11 - Kolizní jev jako výsledek snížení hodnoty hsi vlivem zateplení obvodové stěny v kombinaci s nedostatečnou cirkulací vzduchu a sálání vnitřního povrchu obvodové stěny díky přistavěnému nábytku.  
Zdroj: fotoarchiv autora*

Podobným negativním projevem kolizních stavů těchto konstrukcí je růst plísní a výskyt mikroorganismů na vnějším povrchu konstrukce. Tento fakt lze vztáhnout k malé tepelné kapacitě povrchu konstrukcí ETICS v kombinaci se změnami ve skladbě znečištění ovzduší (snížení prašnosti a obsahu síry vlivem odsíření elektráren, zvýšení obsahu dusíky vlivem zvýšení automobilové dopravy, změny mikroklimatu vlivem většího podílu zeleně a jejího zavlažování v blízkosti staveb, apod.), jakož i změnami v architektuře obvodových plášťů (malé přesahy říms a klempířských prvků, syté barevné odstíny fasád s malým koeficientem tepelné odrazivosti, apod.)<sup>16</sup>. Svůj podíl má i zanedbaná periodická kontrola stavu konstrukcí.

Provádění kontaktních zateplovacích systémů ETICS aktuálně naráží na technický vývoj v oblasti kotevní techniky. Je to důsledek stále se zvyšujících normových požadavků na hodnoty součinitele prostupu tepla  $U (\text{W}/\text{m}^2\text{K})$ , a to jak u staveb nově navrhovaných, tak u staveb

<sup>15</sup> CHMÚRNY, Ivan. *Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov*. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.81

<sup>16</sup> LORENC, Petr. Zkušenosti z dlouhodobého ověřování životnosti ETICS. *Tzbinfo.cz* [online]. Topinfo, 5. 1. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6159-zkusenosti-z-dlouhodobeho-overovani-zivotnosti-etics>

stávajících, realizovaných s tloušťkou tepelné izolace odpovídající dnes již neplatným normovým požadavkům, popřípadě objektů potýkajících se s poruchami, jež jsou projevem nedostatečného řešení tepelných mostů nebo celkové nestability systému ETICS. Jedná se o poměrně velký rozsah konstrukcí. Do roku 2003 bylo u nás provedeno pomocí ETICS zateplení přibližně 25 mil. m<sup>2</sup> fasád, z nichž některé již v roce 2003 vykazovaly poruchy a vady způsobené nesprávným postupem montáže nebo použitím nekvalitních komponentů<sup>17</sup>. Mezi nejzávažnější poruchy ETICS patří ztráta stability systému, kdy ETICS není schopen odolávat působení sání větru a dochází ke ztrátě adheze k povrchu podkladu a uvolňování mechanického kotvení (Obr. 12). Příčiny je nutno hledat v nesoudržném, nerovném a nesprávně ošetřeném podkladu, výběru, kvalitě a způsobu aplikace mechanického kotvení, nedostatečné kvalitě a ploše lepicí hmoty, nesprávnému postupu lepení desek tepelné izolace apod.



*Obr. 12 Kolizní jev ztráty stability ETICS v důsledku sání větru jako výsledek nesprávné aplikace lepení desek tepelné izolace Zdroj: KLÁSEK 2013, Nové možnosti oprav nestabilních ETICS a zdvojování ETICS. <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/10444-nove-moznosti-oprav-destabilnich-etics-a-zdvojovani-etics>*

Samostatnou kapitolou je pak sanace nestabilního systému ETICS či jeho posílení v důsledku zvýšení tepelné izolační schopnosti konstrukce obvodového pláště formou zdvojování systémů ETICS. Pro tyto postupy existují systémová řešení vybraných výrobců (např. certifikovaný systém STX.THERM SANA), aplikace má však své zásady a úskalí.

---

<sup>17</sup> KLÁSEK, Jiří. Nové možnosti oprav nestabilních ETICS a zdvojování ETICS. *Tzbinfo.cz* [online]. Topinfo, 13. 10. 2013 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/10444-nove-moznosti-oprav-destabilnich-etics-a-zdvojovani-etics>

Výsledkem jsou pak případy nesplněných očekávání stavebníků a architektů, případy poruch nebo dokonce pozvolných či náhlých kolapsů konstrukcí ETICS.

### **A.3.5/ Dvouplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou jako difúzně otevřené konstrukce obvodových plášťů**

#### **A.3.5.1/ Úvod**

Tento typ konstrukce obvodového pláště je předmětem předkládané práce. Obvodové pláště s provětrávanou vzduchovou mezerou poskytují z hlediska návrhu provětrávané mezery, jejího tvaru, tloušťky, napojovacích otvorů na vnější prostředí a jejího sousedního prostředí mnoho neznámých, které se v běžné projekční praxi příliš nezohledňují. Další rozvoj poznání v této oblasti směrem k co nejlepšímu energetickému využití fasádní konstrukce jako celku vytváří prostor pro bližší poznání těchto konstrukcí a možné zlepšení jejich funkcí.

Ve výzkumu, zaměřeném na stavebně-fyzikální analýzu poměrů ve vzduchové mezeře vícevrstvých konstrukčních variant představených obvodových plášťů, jsem se soustředil na analýzu chování specifických částí konstrukce z hlediska stavební fyziky a geometrické vztahy těchto konstrukcí v méně specifických podmínkách vnějšího prostředí.

Provedení vzduchové mezery ve dvouplášťových konstrukcích obvodových plášťů jako provětrávané mezery v pozici mezi vnějším pláštěm/obkladem fasády a vnitřní konstrukcí pláště s vrstvou tepelné izolace na svém vnějším povrchu zprvu nebylo výsledkem jednoznačného konsensu architektů a stavebních inženýrů. Nemělo jasnou podporu benefitů převažujících z užití mezery jako provětrávané oproti jejím nevýhodám, které užití takové konstrukce přinášelo (např. především nevýhodám v oblasti investičních nákladů, či prostorových nároků, které aplikace takové konstrukce přinášely).

Postupem času však bylo těmto benefitům porozuměno a konstrukce tohoto typu se staly obecně rozšířenými. Postupně byly odkrývány konstrukční benefity v oblasti ochrany stavební konstrukce (a tepelné izolace) před přímou penetrací vody a vlhkosti vnějšího prostředí (resp. srážek), redukce přímého vlhkostního mostu, umožnění odstranění přímé penetrace vody a vlhkosti z vnějšího prostředí přes fasádní obklad do vnitřních vrstev stavební konstrukce za současného jevu vyrovnání tlaků. Bylo pochopeno, že provětrávané obklady fasád umožňují odstranění vlhkosti díky pohybu vzduchu v provětrávané mezeře a vlhkosti v tomto vzduchu rozptýlené.

Obecná historie poznání procesů uvnitř provětrávaných konstrukcí přinášela v čase mnoho poznatků z různých stran. Poznatků, které mezi sebou byly často v rozporu, nicméně vždy posunuly poznání a vývoj stavebních konstrukcí vpřed.

Pro snazší pochopení stavebně-fyzikálních procesů uvnitř provětrávaných konstrukcí obvodových plášťů byly hledány různé analogie – např. v již známých a obecně aplikovaných konstrukcích provětrávaných střešních plášťů / dvouplášťových větraných střech. Bylo pochopeno, že provětrávaná vzduchová mezera má příznivý vliv na vlhkostní režim střešního pláště jako celku a měla by jej tedy mít i v oboru provětrávaných konstrukcí obvodových plášťů.

Fasádní konstrukce s provětrávanou vzduchovou mezerou jsou jedním z mnoha typů konstrukcí obvodových plášťů – jedná se o **skládané konstrukce obvodových plášťů, realizované postupným vytvářením vrstev.**

Provětrávané fasády tvoří v dnešní době výrazný segment v návrzích a realizaci obvodových plášťů pozemních staveb po boku klasických vícevrstvých kontaktních skládaných systémů a montovaných lehkých obvodových plášťů. Je to obecně dáno jednak vývojem stále se zvyšujících tepelně-technických požadavků, vedoucích k aktuálním konstrukcím obvodových plášťů energeticky soběstačných staveb, ale i širokým spektrem materiálových a skladebných řešení z hlediska architektonických požadavků.

Provětrávaná fasáda je pak většinou dvouplášťovou konstrukcí s jednou větranou mezerou mezi vnitřním a vnějším pláštěm. Může však teoreticky být i víceplášťovou konstrukcí s více mezerami mezi jednotlivými plášti.

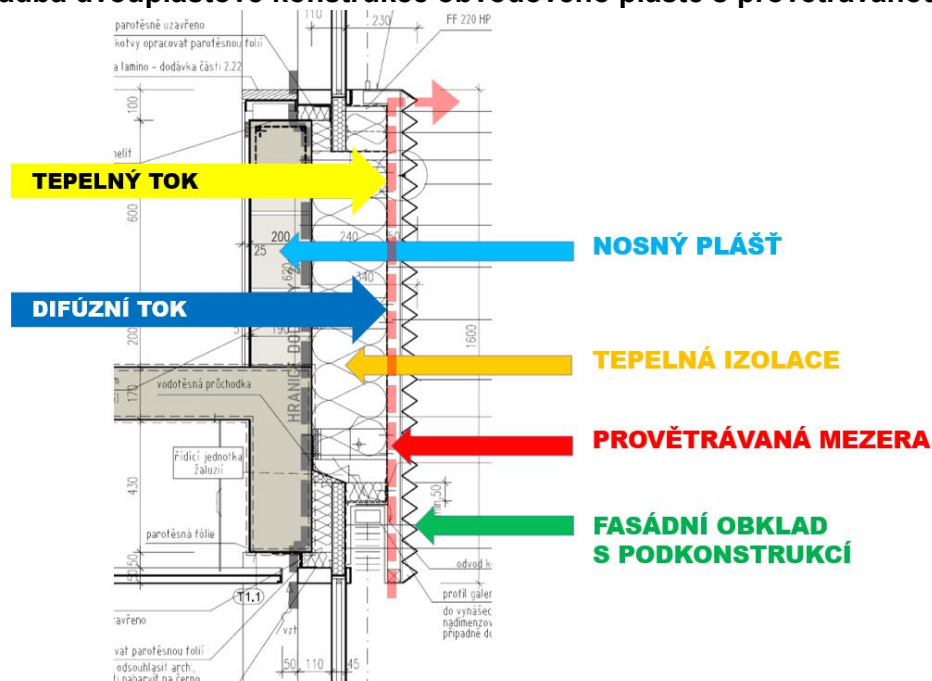
Návrh provětrávané fasády je poměrně specifickou disciplínou, při které je nutno zohlednit řadu faktorů a požadavků, které nespadají do návrhu běžných konstrukcí obvodových plášťů. Předpokladem správného návrhu je pochopení funkce provětrávané mezery mezi vnitřním a vnějším pláštěm, chování vzduchu v provětrávané mezeře a vzájemná interakce prostředí větrané mezery a prostředí s ní souvisejícím ať již z hlediska prostorového (obklad fasády / představený plášť a souvrství tepelné izolace, difúzní fólie na vnějším líci souvrství tepelné izolace), nebo z hlediska konstrukčního (nosný rošt fasádního obkladu a jeho kotvení, případné dokotvení souvrství tepelné izolace) a dopady této interakce na prostředí uložená hlouběji v konstrukci obvodového pláště nebo samostatně v ploše stavební konstrukce jako celku (nosný plášť fasády, vložené výplně otvorů apod.).

Základem úspěchu správného návrhu provětrávané fasády je návrh správné tloušťky provětrávané mezery a zajištění maximálního možného rozsahu proudění vzduchu v mezeře, což samozřejmě souvisí i se správným návrhem a konstrukčním řešením přírodních a odvodních otvorů napojení větrané mezery na vnější prostředí.



Pro správné pochopení procesů, jež se dějí pod povrchem provětrávaných fasád, je potřeba poznat jejich strukturu ve světle regulativů na jejich konstrukci kladených v kombinaci s materiálovými a konstrukčními možnostmi odrážejícími architektonické a estetické požadavky. Velmi důležité je i poznání historie vývoje provětrávaných fasád a z ní vyplývajících důvodů, proč se staly jedním z nejužívanějších stavebních konstrukcí a zda jimi zůstanou i v budoucnosti, tedy v době se stále přísnějšími tepelně-technickými a energetickými požadavky, vztahujícími se na všechny typy obvodových plášťů, z nichž některé v důsledku stále se zvětšujících tloušťek tepelných izolací narážejí na technické možnosti vývoje stavební techniky.

### A.3.5.2/ Skladba dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou



Obr. 13 - Typická skladba dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou

#### a/ Vnější plášť / obklad

Je sestavován z jednotlivých dílců, s otevřenými nebo částečně či zcela uzavřenými spárami (dle druhu fasádního obkladu nebo představeného pláště), případně s přesahem jednotlivých obkladových prvků. Materiálové varianty jsou velmi různorodé, stejně jako technologické principy i architektonický výraz.

Vlastnosti a funkčnost provětrávané fasády závisí mimo jiné i na materiálu obkladu / představeného pláště fasády, jeho formátování, skladbě a technickém řešení jeho nosného roštu. Investičně méně náročnější maloformátové prvky (např. keramika nebo kámen) umožňují v důsledku horizontálních mezer mezi jednotlivými obkladovými prvky v podstatě volné proudění



mezi exteriérem a vzduchovou mezerou po celé výšce fasády. Mnohdy je pak na místě otázka, zda se v takovém případě vůbec jedná o klasický obvodový plášť s provětrávanou mezerou se všemi benefity a nevýhodami z toho plynoucími.

Naopak u fasádních obkladů s menším podílem otevřených mezer (např. velkoformátové obkladové desky nebo systémová řešení maloformátových obkladů uzavřeného typu) pak správná funkčnost provětrávané mezery závisí především na její tloušťce a konstrukčním řešení přírodních a odvodních otvorů a dalších dílčích vlivů, které mohou omezovat proudění vzduchu v mezeře. U takových konstrukcí je pak vhodné se zabývat nejen správnou funkcí provětrávané mezery, ale i případnými bonusy či malusy, jež taková konstrukce může přinášet v různých ročních/denních obdobích či v různé expozici vůči vnějším podmínkám jímž je taková konstrukce vystavena.

Specifickou skupinou obvodových plášťů s provětrávanou mezerou jsou fasády s představeným zděným pláštěm, kdy je montovaný obklad fasády nahrazen v podstatě homogenní masívní stěnou vyzděnou z kusových staviv. Taková stěna je v podstatě samonosná nebo zavěšená na nosném plášti stavební konstrukce obvodového pláště nebo vlastní nosné konstrukci objektu a za jejím vnitřním lícem se nachází provětrávaná mezera tak jako u ostatních montovaných konstrukcí s maloformátovým nebo velkoformátovým obkladem.

### **Materiálové řešení vnějšího pláště dle ČSN 74 7251 Skládání pláště, obklady a pláště z panelů – Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled (březen 2018)**

Tato, v podstatě jediná česká norma, zabývající se problematikou skládaných plášťů staveb rozlišuje materiálová řešení vnějšího pláště takto<sup>18</sup>:

- hliníkové tažené (tlačené) obkladové profily
- svitkové plechy a kontinuálně lakované výrobky na nich, profilované plechy, obkladové desky z plechů s plastovým nebo jiným jádrem
- titanzinkové svitkové plechy, obkladové desky z plechů s plastovým nebo jiným jádrem
- vláknocementové ploché desky
- keramické obkladové prvky
- skleněné obkladové prvky a sklokeramické obkladové prvky
- vysokotlaké dekorativní lamináty
- plastové obkladové profily a desky

---

<sup>18</sup> ČSN 74 7251. *Skládání pláště, obklady a pláště z panelů: Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.13-16

- dřevěné obkladové profily, přířezy a desky na bázi pryskyřic a dřeva nebo organické hmoty
- cementotřískové desky a desky na bázi cementu a organických hmot.

**Širší spektrum aktuálně běžně používaných materiálových řešení obkladů a představěných pláštů dvouplášťových konstrukcí obvodových pláštů s provětrávanou mezerou lze včetně výběru referenčních výrobců specifikovat takto:**

**a/ představěné pláště**

- lícové režné zdivo z pálených cihel, ref.: Klinker, Wienerberger Terca Klinker
- lícové režné zdivo ze štípaného kamene

**b/ obklady**

- obklad z velkoplošných prefabrikovaných železobetonových monolitických panelů
- obklady z kusových keramických tvarovek, ref.: Möding Alphaton, Longoton, Argeton, Keratwin, Keraion apod.
- obklady z kusových dílců slinuté keramiky, ref. Buchtal
- obklady z kusových desek přírodního kamene
- obklady z kusových desek z umělého kamene, ref.: Technistone, Corian
- velkoplošné obklady z vláknocementových desek, ref. Betternit, Cembrit (tyto jsou předmětem předkládané práce)
- velkoplošné obklady z desek z vysokotlakého laminátu, ref.: Trespa, Max
- velkoplošné obklady z cementotřískových desek, ref. Cetris
- obklady ze sendvičových desek s kovovým povrchem typu Bond a minerálním nebo plastovým jádrem, s možností tvarového řešení typu kazeta, ref.: Alucobond, Reynobond apod.
- Obklady z rovných a tvarovaných plechů, ref.: VM-Zinc, Rheinzink, DEKmetal, Lindab apod.
- Skleněné obklady
- Plastové obklady, ref.: Vinytherm, Deceuninck apod.
- Lamely / prkna z dřevěného masivu, měkké dřevo, Thermowood, tropické dřevo apod.
- Desky z vypěněného skelného granulátu se systémovou bezespárou tenkovrstvou omítkou, ref.: StoVentec
- atd.

## **b/ Nosná konstrukce vnějšího pláště / obkladu**

Zajišťuje přenos všech účinků zatížení a fyzikálních vlivů z plochy obkladu / vnějšího pláště do vnitřních vrstev obvodového pláště, resp. do jeho nosné konstrukce, resp. do nosné vrstvy obvodového pláště tohoto typu. Spodní nosná konstrukce plní vyjma výše popsané funkce nosné také funkci distanční a vyrovnávací. Nejčastěji bývá v materiálovém provedení nekorodující kov (např. hliník, ušlechtilé slitiny a oceli různých druhů a povrchových úprav), zejména v závislosti na požadovaném stupni odolnosti proti korozi. Občas bývá i v provedení kombinovaném kov – dřevo, nebo jen ze dřeva, případně v kombinaci s bedněním, a to v závislosti na materiálovém řešení obkladu vnějšího pláště, popř. i ve vztahu k materiálovému a konstrukčnímu řešení nosné části obvodové stěny.

## **c/ Připevňovací, spojovací a kotevní prvky**

Slouží k připevnění obkladu vnějšího pláště k jeho spodní nosné konstrukci, ke vzájemnému spojování jednotlivých částí spodní nosné konstrukce a k jejímu ukotvení k tuhému podkladu – k nosné konstrukci obvodového pláště. Z hlediska hierarchie se jedná o tři podsystémy kotvení se samostatnými specifickými požadavky na každý podsystém zvlášť.

## **d/ Tepelně izolační vrstva**

Jedná se o kompletní tepelně izolační souvrství včetně doplňkové povrchové vrstvy difúzně propustné fólie na jejím vnějším líci a případného kotvícího subsystému pro dokotvení tepelné izolace k podkladu, nezajišťuje-li dostatečně tuto funkci rošt spodní konstrukce vnějšího pláště. Účinnost tepelně-izolační vrstvy je ovlivněna také konkrétním způsobem kotvení spodní nosné konstrukce vnějšího pláště k nosné vrstvě obvodové stěny, které vytváří více či méně hustou síť teplotních vazeb / systémových tepelných mostů, které musí být v návrhu tloušťky tepelné izolace obvodového pláště náležitým způsobem zohledněny.



*Obr. 14 - Masivní podkonstrukce keramického obkladu Möding Alphaton s výrazným vlivem systémových tepelných mostů*

#### **e/ Doplnkové konstrukční prvky**

Tvoří je např. profily pro vnitřní a vnější nároží, ukončující lišty v soklové části, u atiky či u jiné navazující stavební konstrukce, lemování otvorů, větrací lišty apod., ale také těsnící prvky a materiály, krytí spár, protipožární přepážky apod.

#### **f/ Nosná konstrukce obvodového pláště**

Svislá stavební konstrukce, která může být jak konstrukcí výplňovou, tak konstrukcí podílející se na nosném systému stavby. Z tohoto pohledu se může jednat o stěnový systém vyzdívaný z kusových staviv, železobetonovou monolitickou, poloprefabrikovanou nebo zcela prefabrikovanou stěnovou konstrukci, nebo roštovou konstrukci na bázi konstrukční oceli nebo dřeva. Zajišťuje přenos všech účinků zatížení a fyzikálních vlivů z plochy fasády do nosné konstrukce objektu, není-li její součástí.

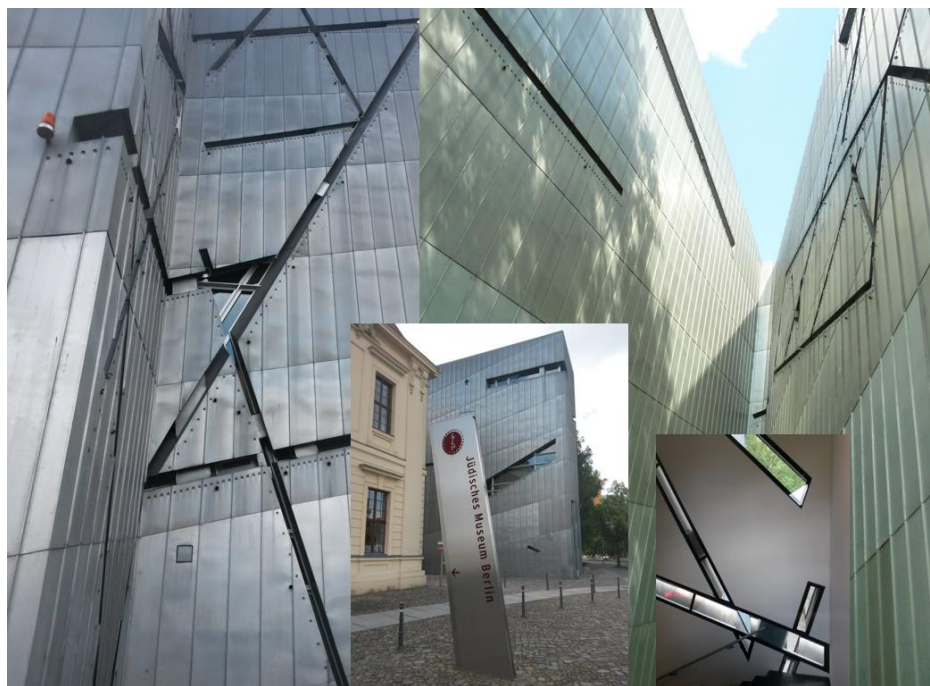
#### **A.3.5.3/ Výhody dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou**

##### **a/ Estetika a architektonické působení**

Z hlediska estetiky a architektonického působení tyto konstrukce poskytují široké spektrum variability řešení pohledové vrstvy fasády, a to jak z hlediska materiálového, tak z hlediska

formátování, povrchových úprav, struktury povrchu, barevného libreta, vzájemných kombinací i originálních designových řešení.

Vhodná volba materiálu a jeho kvalitní řemeslné zpracování umožňují vysokou kvalitu provedení architektonického detailu funkčního i z hlediska stavební techniky, jež se následně odráží v celkové kvalitě díla (Obr. 15 a 16).



Obr. 15 - Jüdisches Museum Berlin - Daniel Liebeskind, 2001. Zdroj: fotoarchiv autora.



Obr. 16 - RD Myšlín - Aulík Fišer architekti, 2009. Zdroj: fotoarchiv autora.

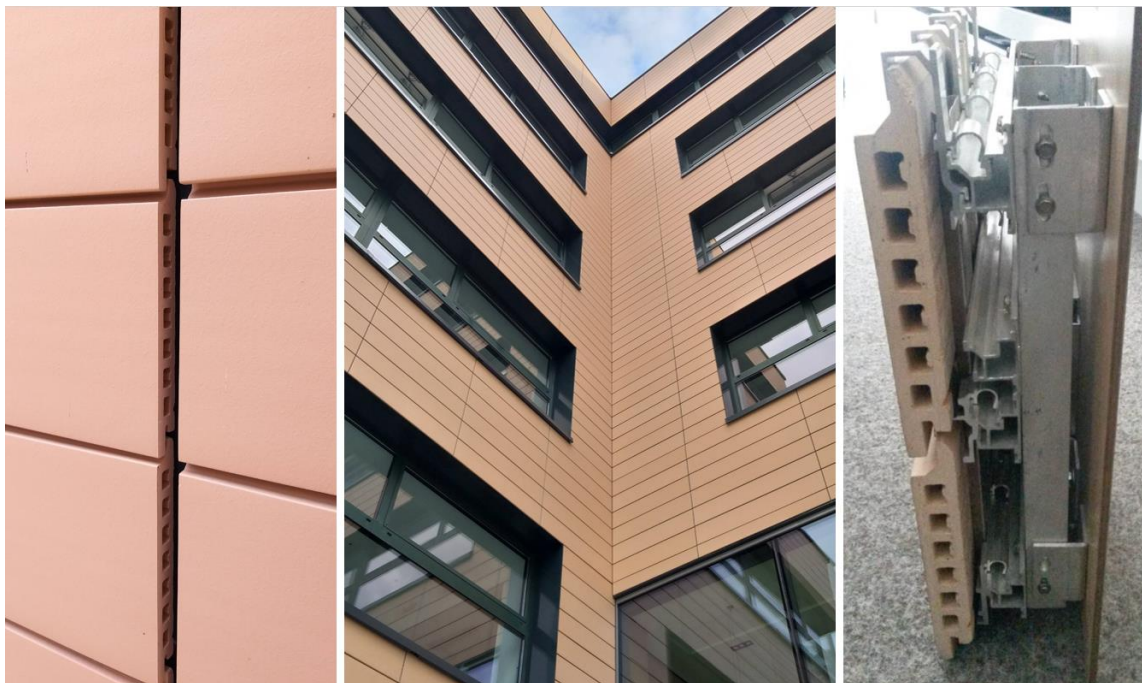
## b/ Funkčnost a trvanlivost

Z hlediska funkčnosti a trvanlivosti tyto konstrukce obvodových plášťů:

- tvoří difúzně otevřenou konstrukci, která je-li správně navržena, tak významnou měrou přispívá k udržení konstrukce obvodového pláště v příznivém tepelně vlhkostním stavu
- fasádní obklad / předsazený plášť poskytuje v závislosti na svém formátování, podílu a konstrukčním řešení spár obkladu poměrně spolehlivou ochranu tepelné izolace proti přímé penetraci deštům
- prostředí provětrávané mezery za určitých podmínek vytváří nárazníkovou zónu, která může v letním období účinně působit proti přehřívání konstrukce a v zimním období proti jejímu vychládání. Zjednodušeně lze konstatovat, že konstrukce tohoto typu přispívají k úspoře energií – v letním období energie potřebné pro chlazení jádra budovy, v zimním období zmenšují tepelné ztráty.
- umožňují případné lokální opravy vnější pohledové vrstvy, v závislosti na jejím materiálovém řešení a přístupnosti fasády dovolují pravidelnou údržbu fasády a omezují nezbytně nutnou plochu pro provádění případné lokální opravy vnější pohledové vrstvy. Nejedná-li se o klasické deskové obklady různých formátů, tak údržba i případná lokální oprava závisí v podstatě na sofistikovanosti systému jako celku. Příkladem takového systému budiž např. suchý obklad z keramických tvarovek Möding, který inteligentním



řešením nosného roštu a fixace jednotlivých obkladových dílců umožňuje metodou „clip in / clip out“ případnou opravu jen konkrétního dílce bez nutnosti rozebírání větší plochy fasády (Obr. 17):



*Obr 17 - Fasádní obklad z keramických tvarovek Möding Alphaton umožňuje díky technickému řešení roštu výměnu každého dílce samostatně bez nutnosti demontáže větší plochy obkladu. Zdroj: fotoarchiv autora.*

### **c/ Hledisko realizace**

Většina obkladů vnějšího pláště umožňuje suchou montáž a průmyslovou předvýrobu v továrních podmínkách. Z tohoto pohledu není následná realizace na stavbě závislá na klimatických podmínkách, tovární zpracování a předvýroba jsou zárukou vysoké kvality finálního díla a proudové výroby za současného omezení lidské práce. Výjimku tvoří představené pláště typu režného zdiva z kusových staviv.

#### **A.3.5.4/ Nevýhody dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou**

Dvouplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou mají také svoje nevýhody, jako např.:

- obklad fasády / představený plášť vyžaduje spodní podkonstrukci kotvenou do nosného pláště konstrukce fasády. Z toho vyplývají dopady jak do vlastní techniky provedení

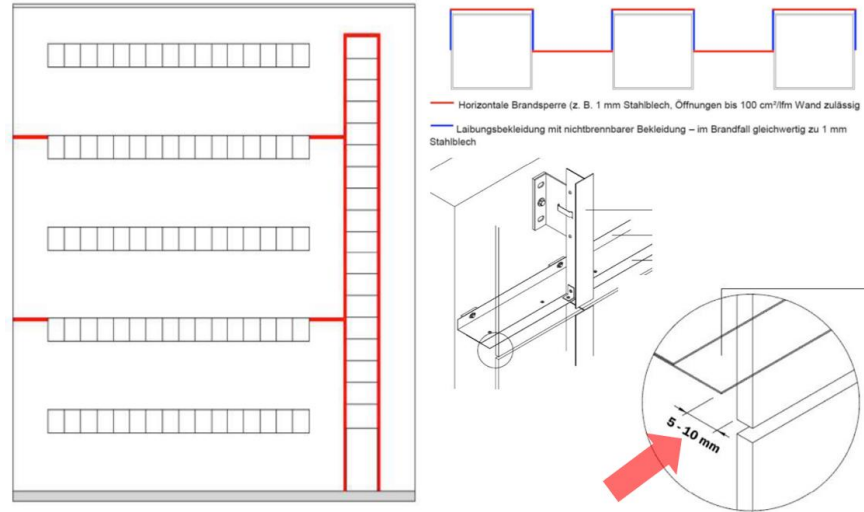
obvodového pláště, tak do tepelně technických parametrů konstrukce. Prvky kotvení podkonstrukce do nosného pláště jsou z tohoto pohledu systémovými tepelnými mosty, které je nutno náležitým způsobem zohlednit v tloušťce tepelné izolace a řešit vkládáním podložek pro přerušení tepelných mostů.

- investiční náročnost (dodávka a montáž).
- určité nevýhody přináší i problematika procesů uvnitř větrané mezery, která závisí na mnoha proměnných (např.: proměnnost parametrů vnějšího a vnitřního prostředí, orientace fasády vůči světovým stranám – vliv oslunění fasády, aerodynamické odpory vyplývající především z konstrukčního řešení podkonstrukce vnějšího pláště a jejího kotvení k nosnému plášti apod.).
- vyšší nároky z hlediska požární bezpečnosti, požadavky na materiálové řešení – používání materiálů třídy reakce na oheň A1 nebo A2 (nestanoví-li požárně bezpečnostní řešení stavby jinak), požadavky na konstrukční řešení – proudění v provětrávané mezeře je vyvoláno komínovým efektem, který může přispívat k šíření požáru. Větraná mezera musí být předělována požárními přepážkami, které v běžném nepožárním provozu fasády tvoří vložené aerodynamické odpory bránící ideálnímu laminárnímu proudění v celé tloušťce větrané mezery (Obr. 18 a 19).
- obecně vyšší investiční náročnost.



Obr. 18 - Požár Grenfell Tower - Londýn Kensington, červen 2017. 79 obětí. Konstrukce fasády s větranou mezerou, použití obkladových desek s polymerním jádrem, materiál tepelné izolace PIR, nevhodné konstrukční řešení předstěnové montáže oken. Zdroj: POKORNÝ 2017. <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/15920-mozne-priciny-vzniku-a-sireni-pozaru-v-bytovem-dome-grenfell-tower-v-londyne>





Obr. 19 Příklad vkládání požárních přepážek do větrané mezery dle DIN18516-1/2016. Zdroj: Brandschutztechnische Vorkehrungen für vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) nach DIN18516-1, Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden. Berlin 2016.

## **B/ SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY**

### **B.1/ LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA KONSTRUKCE OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ S PROVĚTRÁVANOU MEZEROU**

#### **B.1.1/ Existence tuzemských technických norem pro konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou**

Pro vlastní techniku návrhu obvodových plášťů s provětrávanou mezerou existuje řada podkladů. V segmentu klasických normativních podkladů, tak jak je v ČR známe, ucelený normativní podklad však chybí.

#### **CSN 74 7251 Skládané pláště, obklady a pláště z panelů – Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled – březen 2018**

Dle předmluvy tento „*předpis řeší absenci normy v ČR, která by předepisovala požadavky na zabudování do stavby, stanovila standard geometrických přesností a vzhledu zabudovaných obvodových plášťů z panelů, zabudovaných skládaných obvodových plášťů a zabudovaných obkladů obvodových plášťů*“<sup>19</sup>.

Tato norma sice definuje základní názvosloví skládaných plášťů, dvouplášťových a víceplášťových konstrukcí, přesto se v souladu s dikcí svého názvu zabývá především problematikou skládaných obkladů těchto fasád, zásad řešení těchto konstrukcí a dovolených geometrických tolerancí. Vlastní techniky návrhu větrané mezery se dotýká spíše okrajově, a to formou obecných doporučení, jako např.:

- **čl.4.3/ Odvod kondenzátu, dešťové vody a odvětrání konstrukce:** klade obecný požadavek, že konstrukce musí být vždy řešena tak, aby nedocházelo k přímému nekontrolovanému zatékání dešťové vody do skladby konstrukce obvodového pláště. Dutiny provětrávané konstrukce napojené na exteriérové prostředí musí být kontrolovaně odvodněny a odvětrány a nesmí v nich docházet k dlouhodobému hromadění kondenzátu nebo průsakové vody. Voda z povrchu konstrukce, kondenzát a průsaková voda z vnitřních prostor konstrukce musí být ve spodní části konstrukce kontrolovaně a bezpečně odvedeny před hydroizolační izolaci stavby nebo před líc obvodových stěn<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> ČSN 74 7251. *Skládané pláště, obklady a pláště z panelů: Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.4

<sup>20</sup> Tamtéž s.8-9

- **Příloha A (normativní) – dřevěné fasádní obklady – A.1/ Technické požadavky – A.1.1/ Třídy použití a zajištění trvanlivosti – A.1.1.7/:** první normativní požadavek na minimální stavební hloubku účinné odvětrávací mezery 20 mm<sup>21</sup>. Není přitom jasné, zda se jedná o rozměr ve smyslu minimální tloušťky vertikální větrané mezery, nebo zda se jedná obecně o minimální rozměr odvětrávané mezery (např. v konstrukčních detailech napojení větrané mezery na vnější prostředí). S největší pravděpodobností je to však myšleno jako požadavek na minimální tloušťku větrané mezery v souvrství dvou a víceplášťových obvodových plášťů s větranou mezerou. Je však zajímavé, že tento taxativní požadavek je uveden pouze u dřevěných fasádních obkladů.

- **A.4/ Konstrukční řešení – A.4.2/ Odvětrávací mezera:** norma uvádí obecný popis o funkci větrané mezery ve smyslu odvedení vlhkosti z konstrukce do venkovního prostředí, požadavek na plynulé proudění vzduchu s doporučením na minimální stavební hloubku účinné odvětrávací mezery od 20 mm v souladu s požadavkem v čl.A.1.17/ - viz. výše. Doporučení větších šířek pro vysoké obklady přes více pater, kdy musí být zajištěna funkce komínového efektu<sup>22</sup>.

**Závěr:** z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o poměrně strohou normu s tendenčním a velice obecným výkladem požadavků na konstrukci obvodových plášťů s větranou mezerou s důrazem na rozměrové požadavky tolerancí vzhledu skládaných obkladů tvořících vnější plášť dvou a víceplášťových konstrukcí obvodových plášťů. Pro vlastní konstrukci obvodových plášťů s větranou mezerou tato norma nepředepisuje a nedoporučuje téměř nic a jako taková je pro běžnou projekční praxi prakticky nepoužitelná.

### **B.1.2/ Příklady zahraničních regulativů pro konstrukci obvodových plášťů s větranou mezerou**

#### **B.1.2.1/ FVHF – Fachverbandes Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden**

Německý cech předvěšených větraných fasád od r.1993 sdružuje inženýry, techniky a výrobce zabývající se návrhem, výrobou a realizací obvodových plášťů s větranou mezerou a poskytuje odborné veřejnosti zkušenosti a podklady pro návrh a realizaci provětrávaných fasád např. z pohledu stavební fyziky, architektonického a technického řešení, a to nejen pro novostavby, ale také pro modernizace a rekonstrukce. Jeho úkolem je tedy komunikovat celou šíři problematiky.

Z jejich podkladů a informačních materiálů lze získat poměrně přesný obrázek o navrhování obvodových plášťů s větranou mezerou, a to včetně poměrně podrobných detailů (např. techniku kotvení, rozměrových tolerancí, ochrany proti hnanému dešti, požární bezpečnosti apod.).

---

<sup>21</sup> ČSN 74 7251. *Skládané pláště, obklady a pláště z panelů: Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled.* Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.17.

<sup>22</sup> Tamtéž s.20

Všechna doporučení navíc mají podporu poměrně četného zastoupení výrobců z oblasti provětrávaných fasád a ostatních kooperujících institucí, zabývajících se např. dynamickým modelováním, nebo návrhem udržitelné architektury.

#### **B.1.2.2/ EOTA – European Organisation For Technical Approvals – ETAG 034 Guideline For European Technical Approval of Kits For External Wall Claddings – Part I: Ventilated Cladding Kits Comprising Cladding Components And Associated Fixings**

Jedná se o poměrně rozsáhlý dokument, systematicky popisující doporučení pro skládané obklady s větranou mezerou. Problematika je nahlížena z několika hledisek<sup>23</sup>:

- ER1: mechanická pevnost a stabilita
- ER2: požární bezpečnost
- ER3: hygiena a ochrana zdraví (ochrana vnitřního i vnějšího životního prostředí)
- ER4: bezpečnost při užívání (bezpečí a ochrana osob)
- ER5: ochrana proti hluku
- ER6: úspora a šetření energií
- ER7: trvanlivost a udržitelnost
- certifikace a funkční zkoušky pro prokazování splnění požadavků (s odkazy na relevantní ustanovení evropských norem)

Dokument podává poměrně jasné regulativy pro obklady skládaných plášťů, především z hlediska jejich certifikace, v současné době jsou nahrazovány platformou regulativů nazývaných EAD (European Assessment Documents), jež jsou harmonizovanou technickou specifikací podobající se původním ETAGs, ale oproti nim patří mezi harmonizované technické specifikace.

Obecně lze říci, že velká většina tuzemských výrobců komponentů nebo celých systémů obvodových plášťů s provětrávanou mezerou má své komponenty / systémy certifikovány dle těchto evropských dokumentů (ETAG (do 1/7/2013) / EAD (po 1/7/2013)).

---

<sup>23</sup> *Guideline for European technical approval of Kits for external wall claddings: Part I: Ventilated cladding kits comprising cladding components and associated fixings.* In: . Brusel: EOTA, ročník 2012, ETAG 034. s.22-25

### B.1.3/ Základní kategorie požadavků z hlediska základní řady tepelně technických norem řady ČSN 73 0540

Základní a tradiční skupina ČSN Tepelná ochrana budov – část 1: terminologie, část 2: požadavky, část 3: Návrhové hodnoty veličin, část 4: výpočtové metody. Českým specifikem je, že požadavky jsou taxativně uváděny přímo v technické normě, a nikoliv v energetickém nebo jiném zákonu tak jako v jiných zemích. Dotčená norma nebo její část je pak některým z několika možných odkazů v navazující legislativě různým způsobem zezávněna – viz. např. Pražské stavební předpisy (PSP), část třetí – Stavební požadavky, Hlava IV – Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí - §43/ - odst. 1/. PSP uvádí, že „...stavba musí být navržena, prováděna, užívána a případně odstraňována tak, aby neohrožovala život a zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost, zdravé životní podmínky jejich uživatelů ani uživatelů okolních staveb a aby neohrožovala životní prostředí nad limity obsažené v jiných právních předpisech, zejména následkem...“<sup>24</sup> dle odst. h/ „...výskytu vlhkosti ve stavebních konstrukcích nebo na povrchu stavebních konstrukcí uvnitř staveb...“<sup>25</sup>, dle odst. i/ „...nedostatečných tepelně izolačních a zvukově izolačních vlastností podle charakteru užívaných místností...“<sup>26</sup> a dle odst. k/ „...výskytu biotických škůdců a plísní v konstrukcích a na jejich povrchu...“<sup>27</sup>. Tyto požadavky jsou mimo jiné také v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady EU č.305/2011Sb. (s plnou účinností od 1/7/2013). V příloze č.1/ onoho nařízení je uvedeno sedm základních požadavků na stavby. Dle této přílohy musí stavby jako celek i jejich jednotlivé části vyhovovat zamýšlenému použití, zejména s přihlédnutím k bezpečnosti a ochraně zdraví osob v průběhu celého životního cyklu staveb. V PSP jsou dle tohoto nařízení totožné názvy hlav II až VII, resp. obsah Části třetí PSP je členěn dle těchto základních požadavků na stavby.

#### ČSN 730540

**a/ Část 1: Terminologie:** vymezuje termíny užívané v oboru stavební tepelné techniky, definice veličin, jejich značky a jednotky popisující šíření tepla, vlhkosti a vzduchu stavebními materiály a konstrukcemi a popisující stav vnitřního a venkovního prostředí používané v ČSN 730540-2 až 4<sup>28</sup>.

---

<sup>24</sup> Pražské stavební předpisy s aktualizovaným odůvodněním. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. ISBN 978-80-87931-57-8. s.126

<sup>25</sup> Tamtéž s.126

<sup>26</sup> Tamtéž s.126

<sup>27</sup> Tamtéž s.126

<sup>28</sup> ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov: Část 1: Terminologie. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.10

**b/ Část 2: Požadavky:** týkají se splnění požadavků hygienických (dostatečná teplota na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí, dostatečná výměna vzduchu, požadavek omezení nejvyšší teploty v letním období, požadavek z hlediska vychládání budov po přerušení dodávky energie), požadavků energetických (součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí, střední hodnota součinitele prostupu tepla obálkou budovy včetně zatřídění podle úrovně řešení budovy na stupnici A-G). Dále jsou zde požadavky z hlediska zajištění funkčnosti obvodových konstrukcí (omezení či případně i vyloučení kondenzace vodních par v konstrukci). U některých veličin se uvádějí hodnoty dvojí – hodnoty požadované a hodnoty doporučené. Doporučené hodnoty jsou přísnější a naznačují budoucí vývoj k času platnosti znění normy. ČSN 73 05 40-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky v aktuálním znění říjen 2011 definuje celou řadu tepelně-technických požadavků na kce obvodových plášťů – viz. níže příklady dotčených ustanovení normativní části této ČSN:

- **odst. 4.1/** „...dodržení tepelně technických požadavků zajišťuje zejména prevenci tepelně technických vad a poruch budov, tepelnou pohodu uživatelů, ochranu zdraví a zdravých životních podmínek a požadovaný stav vnitřního prostředí pro užívání a technologické procesy a základ nízké energetické náročnosti budov...“<sup>29</sup>

- **odst. 4.4/** „...pro ověření shody s technickými požadavky podle této normy se používají: a/ návrhové hodnoty veličin charakterizující chování konstrukce, místnosti a budovy, stanovené za podmínek a pro vstupní údaje uvedené v ČSN 730540-3 a v jejích normativních odkazech, b/ výpočtové metody a postupy dle ČSN 730540-4 a jejích normativních odkazů a c/ zkušební metody a postupy dle platných norem respektující podmínky v ČSN 730540-3...“<sup>30</sup>

- **odst. 4.5/** „...okna, dveře a vrata v lehkém obvodovém plášti se hodnotí jednotlivě, kromě toho, že se hodnotí vcelku s lehkým obvodovým pláštěm...“<sup>31</sup>

- **odst. 5.1/** nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce – 5.1.1/ „...kce a styky kcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi \leq 60$  % musí v zimním období za normových podmínek vykazovat v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu  $fR_{si}$  splňoval podmínku  $fR_{si} \geq fR_{si,N}$ ... s vazbou  $fR_{si,N} = fR_{si,cr}$  (kritický teplotní faktor vnitřního vzduchu stanovený dle odst. 5.1.4/)...“<sup>32</sup>. Pozn.: splnění požadavku dle

---

<sup>29</sup> ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.7

<sup>30</sup> ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.8

<sup>31</sup> Tamtéž s.8

<sup>32</sup> Tamtéž s.8

5.1.1/ je prevencí rizika povrchové kondenzace u výplní otvorů a růstu plísní u stavebních konstrukcí.

- **odst. 5.1.2/** „...výplně otvorů v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi \geq 60\%$  musí v zimním období buď splňovat požadavek podle vztahu  $fR_{si} \geq fR_{si,N}$  nebo musí být při splnění požadavku dle 5.2/ (součinitel prostupu tepla) zajištěna jejich bezchybná funkce při povrchové kondenzaci a vyloučeno nepříznivé působení kondenzátu na navazující konstrukce (např. vhodnou konstrukční úpravou zajištění odvodu kondenzátu). Nelze-li tento požadavek splnit (např. v prostoru s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu blízkou 100 % např. koupelny), je třeba zajistit v zimním období tak nízkou relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\varphi_i$  podél celého vnitřního povrchu konstrukce, aby konstrukce jako celek požadavek splnila...“<sup>33</sup>

- **odst. 5.1.6/** „... u kce s větranou vzduchovou vrstvou musí část kce od větrané vzduchové vrstvy k venkovnímu prostředí vykazovat v zimním období teplotní faktor vnitřního povrchu  $fR_{si}$  podle vztahů  $fR_{si} \geq fR_{si,N}$  a  $fR_{si,N} = fR_{si,cr}$  a požadovaná hodnota  $fR_{si,cr}$  se stanoví ze vztahu dle odst. 5.1.4/ pro návrhovou teplotu a vlhkost vnitřního vzduchu rovnou teplotě a vlhkosti vzduchu ve větrané vzduchové mezeře dle ČSN 73 0540-4, pro kritickou relativní vlhkost  $\varphi_{si,cr} = 90\%$  a pro bezpečnostní vlhkostní přírážku  $\Delta\varphi_i = 0\%$ ...“<sup>34</sup>. **Pozn.:** kritickým místem pro ověření je obvykle konec větrané vzduchové mezery.

- **odst. 5.2.1/** „...konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu  $\varphi_i \leq 60\%$  součinitel prostupu tepla  $U$  ( $W/m^2K$ ) takový, aby splňoval podmínku  $U \leq U_N$ “<sup>35</sup>, přičemž pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu 18-22 °C včetně a pro všechny venkovní teploty podle tabulky 3/, jež udává požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla.

- **odst. 6.1.1/** „...pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce  $M_c$  ( $kg/m^2.a$ ) mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, tedy:  $M_c = 0 kg/m^2.a$  ...“<sup>36</sup>, přičemž ohrožením požadované funkce je obvykle podstatné zkrácení předpokládané životnosti konstrukce, snížení vnitřní povrchové teploty konstrukce vedoucí ke vzniku plísní, objemové změny a výrazné zvýšení hmotnosti konstrukce mimo rámec rezerv statického výpočtu (zde také provázanost s Pražskými stavebními předpisy,

---

<sup>33</sup> ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.8-9

<sup>34</sup> Tamtéž s.11

<sup>35</sup> Tamtéž s.12

<sup>36</sup> Tamtéž s.21



Hlava II – Mechanická odolnost a stabilita, §40/ Obecné požadavky, odst. 1a/ „...stavba musí být navržena a provedena tak, aby účinky zatížení a nepříznivé vlivy prostředí,... kterým je vystavena během výstavby a užívání při řádně prováděné běžné údržbě, nemohly způsobit náhlé nebo postupné zřícení, popřípadě jiné destruktivní poškození kterékoliv části stavby...“<sup>37</sup>), zvýšení hmotnostní vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci. Pozn.: požadavek  $M_c = 0$  kg/m<sup>2</sup>.a se prokazuje výpočtem dle ČSN 73 05 40-4: Tepelná ochrana budov Část 4: Výpočty.

- **odst. 6.1.2/** „...pro stavební konstrukci, u které kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce neohrozí její požadovanou funkci, se požaduje omezení ročního množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce  $M_c$  (kg/m<sup>2</sup>.a) tak, aby splňovalo podmínku  $M_c \leq M_{c,N}$ ...“<sup>38</sup> **Pozn.:** a dále jsou stanoveny limitní hodnoty  $M_c$  (kg/m<sup>2</sup>.a) pro příklady „rizikových“ konstrukcí, jako např.: **a/** pro jednoplášťovou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším tepelněizolačním systémem nebo vnějším obkladem nižší z hodnot  $M_{c,N} = 0,1$  kg/m<sup>2</sup>.a nebo 3% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém ke kondenzaci dochází, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>, pro materiál s objemovou hmotností menší než 100 kg/m<sup>3</sup> se použije 6% jeho plošné hmotnosti a **b/** pro ostatní konstrukce pak platí nižší z hodnot  $M_{c,N} = 0,5$  kg/m<sup>2</sup>.a nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém ke kondenzaci dochází, je-li jeho objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m<sup>3</sup>, pro materiál s objemovou hmotností menší než 100 kg/m<sup>3</sup> se použije 10% jeho plošné hmotnosti.

- **odst.6.2/** roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce: „...ve stavební konstrukci s přípustěnou omezenou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce (= dle ustanovení 6.1.2/ viz. výše) nesmí v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry zůstat žádné zkondenzované množství vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce...“<sup>39</sup>, tedy roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce musí být tzv. aktivní. **Pozn.:** je-li ve stavebních konstrukcích hodnocených dle odst.6.2/ dřevo a/nebo materiály na bázi dřeva, musí být navržena vhodná konstrukční opatření pro jejich ochranu před nepříznivými účinky vlhkosti a provedena trvalá ochrana těchto materiálů dle ČSN490600-1, ... ČSN EN 335-1 a ČSN EN 335-2. Pokud je ovšem ochrana dle ČSN 490600-1 jediným přijatým opatřením proti nepříznivému působení vlhkosti, musí být zajištěna její snadná obnova. Zároveň je však nutno dodržet

---

<sup>37</sup> Pražské stavební předpisy s aktualizovaným odůvodněním. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. ISBN 978-80-87931-57-8. s.123

<sup>38</sup> ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.21

<sup>39</sup> Tamtéž s.21



dovolenou vlhkost dřeva a/nebo materiálů na bázi dřeva např. dle ČSN EN 14220 (při odůvodněných případech pro dřevěné prvky s rovnovážnou hmotnostní vlhkostí v okamžiku zabudování větší než 16 % musí být zajištěn snadný odvod vlhkosti z konstrukce.<sup>40</sup>

- **odst.6.3/** požadavky dle 6.1.2/ a 6.2/ platí pro vnější i vnitřní konstrukce s výjimkou konstrukcí přilehlých k zemině a prokazují se bilančním výpočtem po měsících dle ČSN EN ISO 13788.<sup>41</sup>

- **odst.6.4/** „... **u konstrukcí s větranou vzduchovou vrstvou se podle odst. 6.1/ a 6.2/ samostatně hodnotí souvrství od vnitřního povrchu k větrané vzduchové vrstvě a souvrství od větrané vzduchové vrstvy k venkovnímu vzduchu... kromě požadavků 6.1/ a 6.2/ se u konstrukcí s větranou vzduchovou vrstvou požaduje ověřit průběh relativní vlhkosti vzduchu proudícího v této vrstvě  $\varphi_{cv}$ , která musí po celé délce této vrstvy splňovat podmínku  $\varphi_{cv} < 90 \%$ ...“<sup>42</sup>. **Pozn.:** při nesplnění požadavku dle 6.4/ vzniká riziko kondenzace vodní páry ve vzduchu větrané vzduchové vrstvy a na přilehlém povrchu vnější části konstrukce, u vodorovných a šikmých konstrukcí pak je riziko odkapávání a zvlhčování materiálů pod vzduchovou vrstvou. Požadavek 6.4/ musí být splněn i v bezvětrí. Toto kritérium je jedním z hodnotících veličin výpočtového programu Mezera 2017 K-CAD s.r.o. a bylo také v provedených výpočtech jednotlivých výpočtových stavů sledováno.**

**c/ Část 3: Návrhové hodnoty veličin:** stanovuje normové, charakteristické a návrhové hodnoty fyzikálních veličin stavebních materiálů, výrobků, výplní otvorů a zdiva, návrhové hodnoty veličin venkovního prostředí, vnitřního prostředí a vzduchu pro navrhování a ověřování stavebních konstrukcí z hlediska šíření vlhkosti a budov z hlediska jejich tepelné ochrany.<sup>43</sup> Tato norma též stanovuje návrhové hodnoty fyzikálních veličin pro výpočty tepelných ztrát budov dle ČSN EN ISO 13790, tepelné zátěže klimatizovaných prostorů podle ČSN 73 05 48 a tepelných izolací chladíren a mrazíren podle ČSN 14 8102. Tyto návrhové hodnoty jsou pak ze závazně odkazy na tuto normu v navazující legislativě, ale jsou častým sporem s uživateli či majiteli budov stojícími tzv. „mimo obor“ a vyžadujícími (bez znalosti obsahu norem návrhových a jejich závaznosti) dodržení kvality vnitřního prostředí dle Nařízení vlády č.93/2012, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.

---

<sup>40</sup> ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.21

<sup>41</sup> Tamtéž s.22

<sup>42</sup> Tamtéž s.22

<sup>43</sup> ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.7

**d/ Část 4: Výpočtové metody:** „stanovuje a upřesňuje výpočtové metody pro navrhování a ověřování konstrukcí a budov dle požadavků na tepelnou ochranu a úsporu energie na jejich vytápění. Platí pro stanovení vlastností konstrukcí a budov, užívané ve výpočtech tepelných soustav budov a dalších výpočtech pro stanovení energetické náročnosti budov.“<sup>44</sup> Její text se v souvislosti s postupným zaváděním společných evropských norem proměňuje. V řadě případů se norma odkazuje na dílčí EN, které jsou aktuálně k dispozici. Přes svou celkovou rozsáhlost však nemůže obsáhnout všechny běžně užívané výpočtové postupy.

#### **B.1.4/ Aerodynamické požadavky na konstrukci obvodových pláštů**

Co se účinku větru na konstrukce a budovy týče, lze jej rozdělit do těchto dvou základních kategorií:

**a/** účinek větru ústí do statického a dynamického chování nosných konstrukcí budovy – tento účinek řeší především statické disciplíny navrhování budov,

**b/** účinek větru ústí do problému infiltrace a statiky nenosných konstrukcí (např. rámy výplní otvorů, prvky lehkých obvodových stěn, klempířské výrobky, podhledy, obklady apod.).

Vítr je nejproměnlivější meteorologický prvek přízemní vrstvy atmosféry, jeho rozhodujícím činitelem je jeho maximální rychlost, jež vzrůstá s výškou nad terénem. Budova, vystavená účinkům větru, představuje překážku proudu vzduchu, mění směr větru a vytváří oblast aerodynamického stínu, charakterizovanou sáním a uzavřenou cirkulací větru.<sup>45</sup>

#### **Všeobecný jev filtrace vzduchu hmotami a konstrukcemi**

Vlivem různých teplot vnitřního a venkovního vzduchu a vlivem působení větru vzniká proudění vzduchu v důsledku pohybu vzdušných hmot z míst s vyšším tlakem do míst s tlakem nižším. Vzduch infiltruje konstrukcemi obvodových stěn a jejich spár a styků. Lze konstatovat, že tento jev prakticky odpovídá fyzikálním principům šíření tepla a difúze vodní páry. Fyzikálním předpokladem infiltrace vzduchu je rozdíl tlaků dvou prostředí, oddělených hmotou nebo konstrukcí. Infiltrace vzduchu je tedy funkcí rozdílu teplot dvou prostředí, účinku větru, orientace konstrukce vzhledem ke světovým stranám, geometrie tvaru objektu a jeho situování

---

<sup>44</sup> ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Výpočtové metody*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.6

<sup>45</sup> PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov - fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9. s.85-86

v urbanistické prostředí, druhu, materiálu a skladby obvodové stěny a fragmentu tvorby a realizace detailu konstrukce obvodové stěny.<sup>46</sup>

Všeobecný jev filtrace vzduchu se projevuje ve formě specifických jevů infiltrace a exfiltrace vzduchu za určitých podmínek stavu vnitřního a vnějšího prostředí.

Vzduchová propustnost spár a styků obvodového pláště je jednou z důležitých veličin, jež výrazně ovlivňují tepelně-technické vlastnosti budov s požadovanou kvalitou vnitřního prostředí. Proto je nutné obvodový plášť, jeho spáry a styky navrhovat tak, aby nedocházelo k nadměrným energetickým ztrátám vlivem spár a styků a aby bylo současně dodrženo kritérium výměny vzduchu v místnosti. Množství objemového toku vzduchu však přímo nevyplývá z geometrie styku či spáry obvodového pláště. V malé míře se může projevit i při nízkém tlakovém rozdílu vnějšího a vnitřního prostředí, což se dá odůvodnit výraznějším vlivem tepelné složky tlakového rozdílu. Objemový tok vzduchu stykem/spárou závisí na fyzikálně-technických vlastnostech těsnění. Dimenzování těsnění z hlediska vzduchové neprůvzdušnosti znamená dimenzování těsnění ve spáře (větrová překážka), ale také zachování jeho kvality v průběhu užívání budovy. Proto je nutné znát fyzikálně-technické vlastnosti těsnění z hlediska zachování jeho kvality v čase. Při návrhu styku je třeba vzít na vědomí správný výběr materiálu na těsnění, správné proporce profilu těsnění (poměr šířky a tloušťky) a správnou tvorbu detailu konstrukce, resp. správné situování osazení těsnění ve styku dané konstrukce.<sup>47</sup>

### **B.1.5/ Hydrodynamické požadavky na konstrukci obvodových plášťů**

Všechny konstrukce obvodových plášťů jsou vystaveny ve větší či menší míře dešti, přičemž pronikání dešťové vody do konstrukce je možné:

- styky mezi jednotlivými prvky tvořící neprůsvitné konstrukce obvodového pláště
- styky a spárami průsvitných konstrukcí obvodového pláště a vlastním povrchem obvodového pláště, kde je pak rozhodující vlastností nasákavost materiálu, jímž je povrch obvodového pláště tvořen.<sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov - fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9 s.87

<sup>47</sup> Tamtéž s.88

<sup>48</sup> Tamtéž s.89

Podmínky pro penetraci vody do obvodového pláště jsou splněny, pokud na obvodovou stěnu působí současně déšť/voda a síla spolupůsobící pohyb vody po povrchu obvodového pláště. Mezi síly způsobující penetraci vody do obvodového pláště patří:<sup>49</sup>

- **Kapilární sání:** vyskytuje se v kapilárách a v trhlkách s charakterem kapilár šířky  $\leq 0,5$  mm.
- **Tlak větru:** vyskytuje se v trhlkách a spárách šířky  $0,01 \leq \text{š} \leq 4$  až 5 mm.
- **Gravitace:** uplatňuje se v trhlkách  $\text{š} \geq 0,5$  mm.
- **Proudění vzduchu:** vyskytuje se u trhlín  $\text{š} \geq 1$  až 4 mm.
- **Kinetická energie dešťových kapek:** uplatňuje se ve spárách  $\text{š} \geq 4$  až 5 mm.

Skutečný pohyb vody v trhlkách a spárách vzniká vlivem jedné nebo kombinací několika sil uvedených výše, přičemž kritickým z hlediska hydrodynamického zatížení obvodového pláště většinou není samotný déšť, ale společný účinek deště a větru, tzv. hnaný déšť.

Podle způsobu řešení těsnění spár obvodových plášťů jsou styky řešeny jako jednostupňové nebo dvoustupňové těsnění.

Jednostupňové těsnění kumuluje v jednom utěsnění spáry funkci zábrany proti dešti i větru (případně i teplu). Jedná se o jednoduché styky se spárou vyplněnou pružnou vložkou nebo silikátovou výplní, zvenčí je spára utěsněna suchým pružným materiálem. Těsnění je vkládáno do hloubky cca 30 až 40 mm a upravuje se do konkávního profilu s hloubkou 5 až 30 mm.<sup>50</sup>

Dvoustupňové těsnění je charakterizováno dvěma oddělenými těsněními – překážkou proti dešti a překážkou proti větru. Svislou dešťovou překážku tvoří pružná těsnicí vložka, uložená uvnitř spáry, nebo předsazená lišta z kovu či vhodného plastu. V horizontálním styku dílů obvodového pláště je pak tato překážka vytvořena otevřeným geometricky tvarovaným šikmým stykem spáry (tzv. „po vodě“). Za dešťovou překážkou je pak umístěna rozšířená vzduchová mezera, tzv. dekompresní dutina, zmenšující přetlak větru na vnitřní větrovou clonu, zmenšující rychlost proudění, vysušující spáru a odvádějící případnou vnesenou vodu, jež pronikla za dešťovou překážkou. Druhý stupeň těsnění pak tvoří překážka proti větru v podobě pružného těsnicího profilu, chráněného před vnějšími atmosférickými vlivy tím, že je uložen uvnitř styku/spáry. Za překážkou proti větru je pak osazena tepelně-izolační vložka. Na základě výše uvedeného platí, že je vždy výhodnější těsnění spár řešit dvoustupňovým těsněním.

---

<sup>49</sup> PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov - fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9. s.89

<sup>50</sup> Tamtéž s.89

Hydrofyzikální namáhání provětrávaných fasád je působení okrajových podmínek ve formě nesilových účinků vnějšího prostředí – působení atmosférických srážek, resp. atmosférickými srážkami vyvolané hydrofyzikální namáhání konstrukce. Voda je významným degradačním činitelem vnějšího prostředí a konstrukce fasády musí účinným způsobem zamezit degradaci nejen vnitřního prostředí, ale i konstrukce fasády samotné.<sup>51</sup>

Mechanismus pronikání hnaného deště volnými spárami vnějšího obkladu vícevrstevných provětrávaných fasád (Obr. 20):

- vliv gravitace u spár šířky nad 0,5 mm
- vliv kinetické energie dešťových srážek – závisí na rychlosti dešťových kapek, jejich velikosti a rychlosti větru
- vliv povrchového napětí
- vliv kapilárního vztlínání u spár šířky do 0,5 mm
- vliv proudění vzduchu od tlaku větru na povrch obkladu fasády v provětrávané vzduchové mezeře
- vliv tlakového rozdílu mezi prostředími na obou stranách vnějšího obkladu – tedy před vnějším lícem obkladu fasády a u jeho vnitřního líce, resp. na vnějším líci provětrávané vzduchové mezery. Zde se tedy mimo jiné uplatňuje i vliv proudění v prostředí provětrávané mezery, jeho rychlost a směr proudění.<sup>52</sup>

Intenzita tzv. hnaného deště na svislé ploše fasády je obecně závislá na:

- velikosti dešťových kapek, resp. šíři celého spektra jejich velikostí
- rozložení pole větru
- geometrii stavby a topologii jejího okolí
- umístění svislé plochy v rámci obálky budovy,

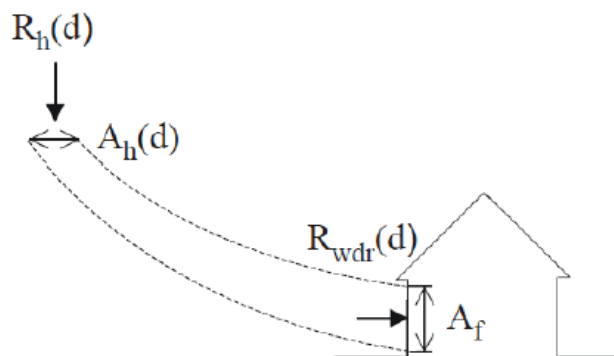
přičemž popis větrem hnaného deště je vzhledem ke komplexnosti této problematiky založen na empirických modelech, které vychází ze základního předpokladu stanovení srážkového úhrnu na vertikální ploše fasády z celkového úhrnu srážek na horizontální rovině<sup>53</sup>:

---

<sup>51</sup> MATIČKA, Jan. Vliv větrem hnaného deště na návrh dvouplášťových svislých obvodových konstrukcí se skládaným pláštěm. Studie disertační práce. 15123 Ústav stavitelství, Fakulta architektury ČVUT. 2007. s.4

<sup>52</sup> Tamtéž s.29

<sup>53</sup> Tamtéž s.33



Obr. 20 Schéma předpokladu stanovení srážkového úhrnu na vertikální ploše fasády z celkového úhrnu srážek na horizontální rovině. Zdroj: MATIČKA 2007. Vliv větrem hnaného deště na návrh dvouplášťových svislých obvodových konstrukcí se skládaným pláštěm. Studie disertační práce. 15123 Ústav stavitelství I, Fakulta architektury ČVUT.

## B.2/ PŘÍKLADY STUDIÍ A ANALÝZ JINÝCH SUBJEKTŮ A JEJICH KRITICKÉ ZHODNOCENÍ

Na téma kvality prostředí uvnitř větrané mezery provětrávaných obvodových plášťů byla provedena řada analýz a výzkumných prací. Vzhledem k tomu, že se obecně jedná o poměrně širokou problematiku, tak většina analýz řeší úzce profilované výzkumné otázky zaměřené na dílčí podrobnosti geometrie a konstrukčního řešení větrané mezery a jejího napojení na vnější prostředí. Analýzy jasně směřují k zásadnímu problému: za jakých podmínek je zajištěna správná funkce větrané mezery, tedy pokud možno zachování trvalého proudění vzduchu v provětrávané mezeře.

Studie a analýzy byly prováděny buď formou parametrických studií nebo výpočtových modelů. Řada z nich byla následně ověřována i měřeními na reálných modelech. Studie a analýzy byly prováděny pro parametry vnějšího prostředí jak v zimním, tak i v letním období.

### Výsledky analýz směřovaly:

- ke sledování parametrů prostředí uvnitř provětrávané mezery (rychlost proudění, teplota vzduchu v mezeře, vlhkost vzduchu v mezeře) ve vztahu k jasně ohraničeným časovým obdobím dne (noc x den) a roku (léto x zima) a ve vztahu k rozdílným tloušťkám provětrávané mezery, popř. i se zvětšující se výškou větrané mezery
- ke sledování vlivu řešení dílčích konstrukčních podrobností (tloušťka větrané mezery, dimenze a konstrukční řešení přívodních a odvodních otvorů napojení větrané mezery na vnější prostředí, vliv zúžení profilu větrané mezery apod.) na parametry prostředí uvnitř větrané mezery, a to v jasně ohraničených časových obdobích dne (noc x den) a roku (léto x zima).

- k modelovému prověření možných energetických zisků obvodového pláště s větranou mezerou
- k hodnocení letního přehřívání konstrukce obvodového pláště s větranou mezerou a ke kvantifikaci dopadů různých konstrukcí provětrávaných fasád na schopnost odvádět přehřátý vzduch z větrané mezery s cílem optimalizovat konstrukční řešení větrané mezery z hlediska proudění vzduchu
- v krajním případě až k optimalizaci konstrukce vedoucí k efektivnímu omezení přenosu tepelné energie na bázi využití dostupných materiálů s nízkoemisními povlaky s cílem vyhodnotit efektivnost použití nízkoemisních materiálů v konstrukcích osluněných dvouplášťových konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou.

## **B.2.1/ Výzkumné práce, analýzy a studie VUT v Brně**

Kolektiv autorů VUT v Brně – Šagát, Matějka, Pěňčík – se problematikou obvodových plášťů s větranou mezerou zabývá systematicky poměrně dlouhou dobu, cca od roku 2013. Předmětem jejich zájmu jsou geometrické vazby konstrukce provětrávané mezery a jejich vliv na kvalitu prostředí v mezeře, a to např. včetně detailního řešení okrajových částí provětrávané mezery v místě jejího napojení na vnější prostředí. Problematikou se zabývali v úrovni výpočtových modelů, parametrických studií, ale i měřeními na experimentálních modelech. Níže jsou uvedeny ukázky jejich vybraných prací na dané téma.

### **B.2.1.1/ Parametrická studie vlivu tloušťky vzduchové mezery provětrávané fasády**

(VUT Brno, Fakulta stavební, Ing. Erik Šagát) ŠAGÁT, Erik. PĚNČÍK, Jan. MATĚJKA, Libor. Parametrická studie vlivu tloušťky vzduchové mezery provětrávané fasády. Stavební obzor, 2013.<sup>54</sup>

Tato parametrická studie, publikovaná ve Stavebním obzoru 08/2013, byla zaměřena na určení rychlosti proudění a teploty vzduchu ve vzduchové mezeře provětrávané fasády při okrajových podmínkách odpovídajících zimnímu období. V rámci parametrické studie je porovnávána tloušťka vzduchové mezery a závěrem parametrické studie je, že proudění vzduchu v provětrávané mezeře je dáno teplotním rozdílem okolního povrchu vzduchové mezery.

---

<sup>54</sup> *Civil Engineering Journal: Stavební obzor*. 21. Praha: CTU Faculty of Civil Engineering. ISSN 1805-2576. Dostupné také z: <https://profesis.ckait.cz/archiv/stavebni-obzor/2013/stavebni-obzor-2013-08.pdf> s.197

Pro účel porovnání rychlosti proudění a teploty ve vzduchových mezerách různých tloušťek v zimním období byl zhotoven ANSYS/CFX model, umožňující výpočet posuzované veličiny v provětrávané mezeře při konkrétních okrajových podmínkách. Výsledkem byla informace o chování vzduchu v provětrávané fasádě v zimním období, konkrétně výsledek porovnání dvourozměrného pole proudění vzduchu a teplotní pole v ustáleném stavu při rozdílné tloušťce provětrávané mezery.

Dvourozměrný model ANSYS/CFX zahrnoval pouze fluidní oblast a okrajové podmínky na jejích hranicích, přičemž při všech parametrických výpočtech byly zadány stejné okrajové podmínky simulující zimní období, ale bez vlivu oslunění fasády. K výpočtu vlastního proudění ve vzduchové mezeře byl použit laminární model proudění. Byly posuzovány tři varianty s rozdílem v tl. provětrávané mezery:

- **tl. 20 mm**, vycházející ze směrnice ETAG034, která stanovuje 20 mm jako nejmenší možnou tl. provětrávané mezery v konstrukci obvodového pláště s provětrávanou mezerou

- **tl. 40 mm**, vycházející ze zvyklostí návrhů tl. provětrávané mezery v ČR na základě ČSN 73 19 01 Navrhování střech pro min. tl. provětrávané dutiny dvouplášťové střechy se sklonem > 45°, jelikož národní norma pro navrhování provětrávaných fasádních konstrukcí v ČR chybí.

- **tl. 60 mm.**

### **Geometrie modelu<sup>55</sup>**

Modelovaná část provětrávané mezery dvouplášťové konstrukce obvodového pláště byla omezena na provětrávanou vzduchovou dutinu, na jejíchž ohraničujících plochách byly zadány okrajové podmínky. Výška provětrávané mezery byla pro všechny vyšetřované případy stanovena jednotně 1,5 m. Představovala část provětrávané fasády, typickou pro prostor mezi nadpražím a parapetem mezi pásovými okny. Vnější stěna provětrávané mezery byla modelována jako celistvá bez otevřených spár (např. formou velkoplošného obkladu fasády na celou výšku parapetního pásu). Přívod vzduchu do dutiny byl modelován vertikálně v celém profilu tl. provětrávané mezery. Vývod vzduchu z dutiny byl modelován pod parapetem do boku fasádního obkladu. Exteriérové podmínky byly definovány pro parapet v horní části a pro svislou část vnějšího obkladu (s výjimkou otvoru pro vyvedení vzduchu z provětrávané mezery). Interiérové okrajové podmínky byly definovány na opačné straně provětrávané mezery. Vzhledem k tomu, že

---

<sup>55</sup> *Civil Engineering Journal: Stavební obzor*. 21. Praha: CTU Faculty of Civil Engineering. ISSN 1805-2576. Dostupné také z: <https://profesis.ckait.cz/archiv/stavebni-obzor/2013/stavebni-obzor-2013-08.pdf> s.197-198



model byl dvourozměrný, byly při výpočtu zanedbány vřazené odpory vlivem kotevních prvků předsazeného pláště fasády stejně jako vliv větracích mřížek na vstupním a výstupním otvoru. Výpočtová síť byla sestavena ze čtverců o délce strany 1 mm.

### **Okrajové podmínky<sup>56</sup>**

Okrajové podmínky parametrického modelu modelovaly zimní období bez vlivu oslunění fasády. Byla definována teplota v interiéru, teplota venkovního vzduchu, teplota na povrchu konstrukcí oddělujících provětrávanou mezeru od vnějšího prostředí a součinitel prostupu tepla konstrukce mezi interiérem a provětrávanou mezerou. Vliv samotného obkladu fasády, tepelných mostů a radiace okolních povrchů byl zanedbán, stejně jako tlakový rozdíl u vstupu vzduchu do provětrávané mezery – nasávání vzduchu do dutiny bylo modelováno přirozenou konvekcí (komínovým efektem) na základě rozdílu teplot vzduchu uvnitř provětrávané mezery.

### **Výsledky parametrické studie<sup>57</sup>**

Z výsledků této parametrické studie vyplývá, že v dolní části mezery proudí vzduch celým profilem přírodního otvoru. S tepelným tokem z interiéru do provětrávané mezery se s rostoucí výškou zvyšuje teplota i rychlost proudícího vzduchu do mezery přilehlé k interiéru. V horní části provětrávané mezery je pak dosahováno nejvyšší rychlosti proudění, ale také nejvyšší teploty proudícího vzduchu.

**Rozložení teplot** pro tl. mezery 20 mm, a tedy i její průměrná hodnota je značně vyšší než u tl. mezery 40 mm a 60 mm. Oblast se zvýšenou teplotou vzduchu je v případě tl. provětrávané mezery 20 mm situována poblíž povrchu stěny oddělujícího provětrávanou mezeru od interiéru. Toto zvýšení teploty vzduchu v provětrávané mezeře je způsobeno tepelným tokem směrem z interiéru do exteriéru. V případech tl. mezery 40 mm a 60 mm je teplota vzduchu v části dutiny blíže k hranici s interiérem nižší.

V případě tl. provětrávané mezery 20 mm dochází ke zjevnému zvýšení teploty napříč téměř celou šířkou dutiny, v případech tl. provětrávané mezery 40 mm a 60 mm je zvýšená teplota v mezeře soustředěna u hranice vnějšího líce konstrukce směrem od interiéru. Ve všech třech případech je vzduch v provětrávané mezeře shora ochlazován od parapetu, na jehož hranici je teplota -15 °C. Vliv tohoto ochlazení je nejvíce patrný u případu tl. provětrávané mezery 60 mm. Vyvedení

---

<sup>56</sup> *Civil Engineering Journal: Stavební obzor*. 21. Praha: CTU Faculty of Civil Engineering. ISSN 1805-2576. Dostupné také z: <https://profesis.ckait.cz/archiv/stavebni-obzor/2013/stavebni-obzor-2013-08.pdf> s.198

<sup>57</sup> Tamtéž s.198-199

vzduchu bočním otvorem také částečně zvyšuje teplotu v horní části provětrávané mezery a po celé její šířce, tento jev je nejvíce patrný u případu s tl. provětrávané mezery 20 mm. Pod úrovní parapetu dochází ve všech případech k lokálnímu nárůstu teploty na hranici s interiérem.

Nejvyšší teplota v provětrávané mezeře je pro všechny varianty simulace v zimním období soustředěna na hranici s interiérem a je navíc v posuzované rovině ve všech variantách téměř stejná, a to přibližně  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ , což znamená, že se vzduch v prostředí provětrávané mezery ohřeje z teploty  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  o zhruba  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Další vývoj teploty a proudění vzduchu uvnitř provětrávané mezery lze odůvodnit přirozenou konvekcí, při níž teplejší vzduch menší hustoty proudí směrem nahoru. Teplota vzduchu se v provětrávané mezeře v zimním období bez vlivu oslunění fasády jednoznačně zvyšuje nejvíce poblíž hranice s interiérem, z čehož plyne, že i nejvyšší rychlost proudění je v rámci provětrávané mezery situována blíže k její hranici s interiérem.

#### **Dvourozměrné pole rychlosti proudícího vzduchu v horní části provětrávané mezery:**

v dolní části u přírodního otvoru proudí vzduch do provětrávané mezery celou šířkou jejího profilu. S rostoucí výškou proudí vzduch rychleji v oblasti blíže interieru, tedy v oblasti, kde má vzduch i vyšší teplotu. Nejvyšší rychlost proudění vzduchu je v případě tl. provětrávané mezery 40 mm, a to lokálně  $0,24\text{ m/s}$ . Maximální rychlost proudícího vzduchu v případě tl. provětrávané mezery 60 mm je o něco menší...  $0,21\text{ m/s}$ . V případě tl. provětrávané mezery 20 mm je rychlost proudění podstatně menší –  $0,15\text{ m/s}$ . Rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře významně ovlivňuje tloušťka provětrávané mezery spolu s rozměry nasávacího a vývodního otvoru/otvorů. Menší vliv pak má teplota vzduchu v dutině, která je ve všech posuzovaných případech v podstatě stejná. V případě tl. provětrávané mezery 20 mm proudí vzduch téměř v celé šířce dutiny (vyjma míst v těsné blízkosti jejích hranic = podél povrchů, jež mezeru vymezují). U variant s tl. provětrávané mezery 40 a 60 mm je rychlejší proudění soustředěno blíže k hranici dutiny s interiérem, odkud do mezery prostupuje teplo z interieru. Tento jev se zvyrazňuje s rostoucí tloušťkou provětrávané mezery. U nejširší mezery pak rychlost klesá k nule ve vzdálenosti cca 16 mm od vnější hranice mezery, resp. od vnitřního líce obkladu fasády. Tento jev je způsoben změnou směru proudění vzduchu při hranici s exteriérem. V celé provětrávané mezeře totiž vzduch proudí směrem nahoru, vyjma místa pod odvodním otvorem, kde se vlivem širšího profilu provětrávané mezery část vzduchu ochlazuje a stáčí směrem dolů podél ochlazovaného vnějšího pláště/obkladu fasády.

## Závěry parametrické studie<sup>58</sup>

Dvourozměrný CFD model poskytuje základní představu o chování vzduchu v provětrávané mezeře. Jako nejvýhodnější se jeví případ s tl. provětrávané mezery 40 mm. Simulací zde byla zjištěna nejvyšší rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře.

U varianty tl. provětrávané mezery 20 mm dle ETAG byla maximální rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře menší o téměř 40 %, k proudění tedy docházelo v omezené míře, ale vzhledem k pomalejšímu proudění a menší tl. mezeře byla u této varianty nejvyšší průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře.

Varianta s tl. provětrávané mezery 60 mm se projevila mírně menší maximální rychlostí proudění vzduchu v provětrávané mezeře, což bylo zřejmě způsobeno i otáčením proudění v okrajových oblastech s pomalejším prouděním u odváděcího otvoru.

**Zhodnocení:** předmětná parametrická studie v podstatě potvrdila obecné znalosti v oboru dvouplášťových konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou a jejím chování v zimním období, aplikované v běžné projekční praxi s tím, že jako nejvýhodnější se z hlediska zachování garantované funkčnosti provětrávané mezery jeví její tloušťka 40 mm. Bohužel, do modelu nebyly zavedeny další okrajové podmínky, jež mohou mít podstatný vliv na garantovanou funkci provětrávané mezery (např. vliv sluneční radiace, kolísání vnější teploty v denním běhu, tedy rozdíly mezi dnem a nocí, vliv tzv. studeného sálání v nočním období apod.).

### B.2.1.2/ Vliv lokálního zúžení vzduchové mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády

(VUT Brno, Fakulta stavební, Ing. Erik Šagát) ŠAGÁT, Erik. MATĚJKA, Libor. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády.<sup>59</sup>

Tato studie, publikovaná na serveru [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) v roce 2015, se zabývá obvodovým pláštěm s provětrávanou mezerou z hlediska optimalizace návrhu geometrie provětrávané vzduchové mezery. Návrh vychází z ETAG 034, který stanovuje minimální tloušťku větrané mezery 20 mm

---

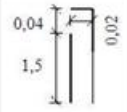
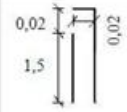
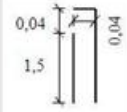
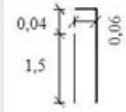
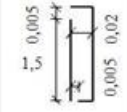
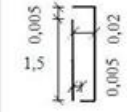
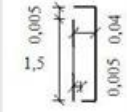
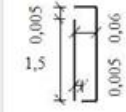
<sup>58</sup> *Civil Engineering Journal: Stavební obzor*. 21. Praha: CTU Faculty of Civil Engineering. ISSN 1805-2576. Dostupné také z: <https://profesis.ckait.cz/archiv/stavebni-obzor/2013/stavebni-obzor-2013-08.pdf> s.200

<sup>59</sup> ŠAGÁT, Erik a Libor MATĚJKA. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 23. 2. 2015 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

s možností jejího lokálního zúžení na 10 mm, nebo i 5 mm po posouzení takto navržené konstrukce. Dále ETAG 034 stanovuje jako nejmenší průřez pro přírodní a odvodní otvory větrané mezery plochu min.50 cm<sup>2</sup>/1bm délky mezery, což reprezentuje štěrbinu šířky 5 mm/1bm délky provětrávané mezery. V rámci předmětné studie byla na experimentálním modelu provedena analýza vlivu takového zúžení u přírodního a odvodního otvoru provětrávané mezery. Studie byla zaměřena na sledování průběhu rychlosti proudění a teplotního pole uvnitř provětrávané mezery tl. 20, 40 a 60 mm.

Z výsledků studie vyplývá, že vliv lokálního zúžení přírodního a odvodního otvoru provětrávané mezery na šířku 5 mm se zvyšuje s rostoucí tloušťkou provětrávané mezery. Studie se zabývá problematikou vlivu lokálních zúžení na chování konstrukce jako celku, přičemž hlavními sledovanými parametry jsou teplota vzduchu a rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře.

Pro účel experimentu v přirozených exteriérových podmínkách byly sestaveny dva panely provětrávané fasády, na kterých byly porovnávány průběhy sledovaných veličin ve stejném čase, ale při rozdílném nastavení geometrie modelu (Obr. 21).

Varianta	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Schéma větrané mezery bez zúžení kótováno v [m]				
Schéma větrané mezery se zúžením kótováno v [m]				

Obr. 21 - Schéma posuzovaných variant provětrávané mezery. Šagát 2015. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. Zdroj: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

Cílem experimentu bylo zjištění a porovnání rozdílů mezi jednotlivými variantami. Jednotlivé posuzované varianty odpovídají tloušťkám provětrávané mezery 20, 40 a 60 mm a varianty 1 a 2 jsou porovnávány navzájem vzhledem ke stejné tloušťce větrané mezery. Porovnáváním těchto dvou variant byl sledován vliv rozšíření odváděcího otvoru na větší šířku, než je tloušťka samotné provětrávané vzduchové mezery.

## Výsledky studie<sup>60</sup>

**a/ Rychlost proudění:** z výsledků vyplývá evidentní vliv zúžení otvorů provětrávané mezery (Obr. 22). Lokální zúžení mezery jednoznačně způsobuje snížení průměrné rychlosti vzduchu v provětrávané mezeře. V závislosti od poměru zúžení k tloušťce provětrávané mezery se zvyšuje jeho vliv na proudění. Při tl. provětrávané mezery 20 mm je vliv zúžení nejmenší, u provětrávané mezery tl. 60 mm se lokální zúžení projevilo na proudění nejvíce, a to snížením rychlosti proudění až o 61 %. Rozšíření odvodního otvoru u var. 1/ se na rychlosti proudění vzduchu v provětrávané mezeře neprojevilo vůbec. Experimentální výsledky poukazují na skutečnost, že vliv lokálního zúžení otvorů provětrávané mezery je značný zejména u konstrukcí s větší tloušťkou provětrávané mezery. Nezanedbatelný vliv zúžení se projevilo i u provětrávané mezery s minimální možnou návrhovou tl. 20 mm. V našich podmínkách se pravděpodobně nejčastěji užívá tl. provětrávané mezery 40 mm a tato byla ovlivněna zúžením otvorů větrané mezery vedoucím ke snížení rychlosti vzduchu o nezanedbatelných 44 %.

Varianta	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Varianta 4	
Lokální zúžení	bez zúžení	zúžení	bez zúžení	zúžení	bez zúžení	zúžení	bez zúžení	zúžení
Průměrná rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	0,122 ( $v_{bez}$ )	0,093 ( $v_s$ )	0,114 ( $v_{bez}$ )	0,087 ( $v_s$ )	0,115 ( $v_{bez}$ )	0,064 ( $v_s$ )	0,119 ( $v_{bez}$ )	0,046 ( $v_s$ )
$1 - (v_s / v_{bez})$ [%]	24		24		44		61	

Obr. 22 - Shrnutí měření rychlosti proudění. Šagát 2015. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. Zdroj: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

**b/ Teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** byla ve všech sledovaných variantách vyšší u případů se zúžením otvorů, což je dáno oním snížením rychlosti proudění (Obr. 23). Maximální rozdíly v teplotách byly naměřeny logicky v době oslunění fasády. Teplota vzduchu v provětrávané mezeře se zúžením byla v době oslunění vyšší až o 10 °C. V nočních hodinách byly teploty v měřené úrovni u obou panelů přibližně stejné.

<sup>60</sup> ŠAGÁT, Erik a Libor MATĚJKA. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 23. 2. 2015 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

Varianta	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Varianta 4	
Lokální zúžení	bez zúžení	zúžení	bez zúžení	zúžení	bez zúžení	zúžení	bez zúžení	zúžení
Průměrná teplota [°C]	27,6 ( $t_{bez}$ )	28,6 ( $t_s$ )	28,7 ( $t_{bez}$ )	29,4 ( $t_s$ )	25,9 ( $t_{bez}$ )	27,7 ( $t_s$ )	27,1 ( $t_{bez}$ )	28,7 ( $t_s$ )
Rozdíl $t_s - t_{bez}$ [°C]	1,0		0,7		1,8		1,6	

Obr. 23 - Shrnutí měření teploty vzduchu v provětrávané mezeře. Šagát 2015. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. Zdroj: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

Vliv lokálního zúžení provětrávané mezery na snížení rychlosti proudění vzduchu byl experimentálně prokázán. Zmenšení průřezu u var.1 a 2 na 25 % velikosti otvorů u nezúženého případu představuje snížení rychlosti proudícího vzduchu o 24 %. Významněji se zúžení otvorů na 5 mm projevuje u větších tloušťkách provětrávané mezery, protože u 40 mm tloušťky mezery představuje zúžená část pouhých 12,5 % průřezu nezúženého. Při tloušťce provětrávané mezery 60 mm představuje zúžený průřez otvorů vzhledem k rozměru nezúženého horního odváděcího otvoru šířky 40 mm jen 10 %. Rychlost proudění v takových případech klesá o více než 50 % vůči případu bez jakéhokoliv zúžení.

### Závěr studie<sup>61</sup>

Výsledky experimentálního měření potvrdily nepříznivý vliv lokálního zúžení v konstrukcích osluněných obvodových plášťů s provětrávanou mezerou. V rámci návrhu provětrávaných konstrukcí by se měl klást důraz na zachování průřezu po celé výšce fasády (nebo jejího logického celku). Obzvláště vhodné je neomezovat průřez provětrávané mezery na minimální přípustné hodnoty u mezer s větší tloušťkou, kde se vliv lokálního zúžení prokázal výrazněji. Zúžení průřezu uvnitř konstrukce je nevhodné i z důvodu dalších prvků omezujících proudění vzduchu v konstrukcích, jako jsou např. větrací mřížky na přívodních a odvodních otvorech, přepážky vkládané z důvodu požární bezpečnosti apod.

**Zhodnocení:** předemtný experiment prokázal skutečnost, že rychlost proudění a teplota proudícího vzduchu v provětrávané mezeře závisí na její tloušťce, jejím případném zúžení dalšími konstrukčními opatřeními (např. horizontálními konstrukčními prvky nosného roštu obkladu fasády nebo vkládanými horizontálními protipožárními přepážkami apod.), konstrukčním a architektonickým řešením přívodních a odvodních otvorů napojení provětrávané mezery na vnější prostředí. Úbytek rychlosti proudění vlivem zúžení tloušťky provětrávané mezery nebo

<sup>61</sup> ŠAGÁT, Erik a Libor MATĚJKA. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 23. 2. 2015 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

přívodních či odvodních otvorů napojení mezery na vnější prostředí je na druhou stranu kompenzován zvýšením teploty vzduchu v mezeře. Vliv zúžení těchto otvorů lze zjednodušeně popsat tak, že je tím větší, čím větší je tloušťka provětrávané mezery, ale umělé zvětšování plochy těchto otvorů většinou nemá významný vliv na zvýšení rychlosti proudícího vzduchu. Pozitivním přínosem modelového experimentu je, že byl analyzován v exteriérových podmínkách, v letním období, a tedy se zohledněním vlivu sluneční radiace. Nevýhodou je, že zkoumané vlivy nebyly analyzovány v zimním období a že model nezohledňoval interiérové podmínky (např. vodní páry difundující stavební konstrukcí, dotaci prostředí ve větrané mezeře prostupem tepla z interieru apod.). Přesto jsou výsledky experimentu cenné a v podstatě potvrzují znalosti v oboru, užívané v běžné projekční praxi. Z architektonického hlediska je jistě zajímavá závislost proudění vzduchu v provětrávané mezeře na omezování plochy přívodních a odvodních otvorů napojení mezery na vnější prostředí. Záměrem architektonického řešení je většinou snaha co nejvíce tyto otvory skrývat. Tato snaha však může být s ohledem na zajištění proudění vzduchu v provětrávané mezeře kontraproduktivní.

### **B.2.1.3/ Větrání obvodových plášťů budov<sup>62</sup>**

Parametrické výpočtové a experimentální studie shrnul autor výše zmíněných parametrických a experimentálních studií do své dizertační práce v roce 2016. Cílem dizertační práce bylo vyhodnocení jednotlivých konstrukcí a materiálových variant obvodových plášťů s provětrávanou mezerou s ohledem na vyhodnocení vlivů na rychlost a teplotu vzduchu v mezeře a na teplotu povrchů k ní přiléhajících.<sup>63</sup> Posuzovaným ročním obdobím bylo opět léto, autor se také snažil kvantifikovat dopad různých konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou na schopnost odvádět přehřátý vzduch z větrané mezery dvouplášťové konstrukce obvodového pláště. Dalším z cílů práce bylo poukázat na problematiku tvorby detailů návrhu takové stavební konstrukce, jejich optimalizaci s ohledem na vylepšení proudění vzduchu v mezeře.

Souhrnným cílem práce tedy byla optimalizace proudění vzduchu v provětrávané mezeře netransparentní osluněné dvouplášťové konstrukce obvodového pláště za účelem snížení teploty konstrukce v letním období. Zjednodušeně řečeno se autor pokusil o ideový optimalizovaný návrh konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou tak, aby výsledné řešení vykazovalo dostatečné proudění vzduchu v mezeře pro odvedení přebytečného tepla z konstrukce s cílem

---

<sup>62</sup> ŠAGÁT, Erik. *Větrání obvodových plášťů budov: Zkrácená verze PhD Thesis*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=157008](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157008). Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka.

<sup>63</sup> Tamtéž s.7



omezení sálavého přenosu tepelné energie mezi vnějším a vnitřním pláštěm přes prostředí provětrávané mezery a přispělo tak ke sníženému teplotnímu namáhání konstrukce obvodového pláště a snížení energetické náročnosti budovy.

Ověření cílů disertační práce bylo provedeno jak výpočtovým modelem, tak experimentálními modely. Numerické výpočty byly provedeny s použitím CFD modelování. Geometrie výpočtových modelů však nezahrnovala vrstvu tepelné izolace a nosnou konstrukci obvodového pláště, pravděpodobně z důvodu zjednodušení zadávání. Tato prostředí byla nahrazena pomocí vhodně zvolených okrajových podmínek. Velikost výpočtových modelů byla zvolena tak, aby tyto modely reprezentovaly reálné rozměry konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou, nacházející se v plném parapetním pásu mezi okny na sebe navazujících podlaží. Jednalo se tedy o výsek fasády výšky cca 1500 mm a šířky posuzovaného úseku 600 mm.<sup>64</sup>

Experimentální modelové měření bylo provedeno na dvou rozměrově totožných panelech simulujících obvodový plášť s provětrávanou mezerou, přičemž geometrie těchto panelů odpovídala základním rozměrům výpočtových modelů. Dva experimentální modely byly zvoleny z důvodu možnosti přenastavení detailního konstrukčního měření s ohledem na aktuální klimatické podmínky, resp. následné nové měření veličin na jednom přenastaveném modelu by nebylo srovnatelné, neboť každé vnější klimatické podmínky jsou v daném čase unikátní a srovnávací měření by tak ztrácelo smysl. Zkoumány byly provětrávané mezery v tloušťkách od 20 do 60 mm, experimentální panely byly vyplněny tepelnou izolací tl. 100 mm překrytou difúzně otevřenou pojistnou folií. Modely byly osazeny čidly sledujícími:<sup>65</sup>

- teplotu vzduchu v mezeře
- rychlost proudění vzduchu v mezeře
- relativní vlhkost vzduchu v mezeře
- dosažení rosného bodu v mezeře
- teplotu vzduchu na vstupním otvoru do větrané mezery.

Meteostanice, měřící parametry kvality vnějšího prostředí, sledovala:

- teplotu vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu

---

<sup>64</sup> ŠAGÁT, Erik. *Větrání obvodových plášťů budov: Zkrácená verze PhD Thesis*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=157008](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157008). Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka.s.9-10

<sup>65</sup> Tamtéž s.12



- rychlost a směr větru
- tlak vzduchu
- množství a intenzitu srážek.

## **Výsledky výpočetních modelů a experimentálního měření**

### **a/ Vliv větracích mřížek nasávacích a výfukových otvorů napojení provětrávané mezery na vnější prostředí<sup>66</sup>**

Ve výpočetních modelech byly zkoumány dva stavy – jeden se zmenšením plochy přívodního a odvodního otvoru provětrávané mezery o 55 % (tedy simulace osazení mřížek na otvorech s aerační plochou 45 %) a druhý s volnými otvory bez mřížek. Oba dva stavy byly analyzovány v simulovaném letním období (se simulací průměrných letních podmínek pro střední Evropu). Výsledky byly v očekávaných mezích, tedy že teplota vzduchu v provětrávané mezeře byla vždy asi o 20 °C vyšší a rychlost proudění vzduchu v mezeře byla vždy nižší asi o 0,2 m/s v případě modelového prostředí se simulovanými větracími mřížkami, čímž byl prokázán negativní vliv větracích mřížek v přívodních a odvodních otvorech napojení provětrávané mezery na vnější prostředí. Větrací mřížky jednoznačně zvyšují teplotu vzduchu a snižují rychlost proudění vzduchu v mezeře.

U experimentálních modelů byly v letním období paralelně posuzovány tři stavy: na jednom modelu byly postupně osazovány větrací mřížky s aerační plochou 40 %, 53 % a 70 % a druhý model byl vždy bez větracích mřížek. Naměřené hodnoty obecně potvrdily trend z výpočetových modelů, tedy zvýšení teploty vzduchu a snížení rychlosti proudění vzduchu v provětrávané mezeře při osazení větracích mřížek, přičemž výsledná tendence směřovala k vyšším rozdílům, než vykazovaly výpočetní modely.

### **b/ Vliv geometrie výfukového otvoru napojení provětrávané mezery na vnější prostředí pod parapetním plechem okna / atikovým plechem atiky na rychlost proudění a teplotu vzduchu v mezeře<sup>67</sup>**

Předmětem bylo analyzovat vliv tvarování okraje parapetního plechu v kombinaci s různými geometriemi velikosti výfukových otvorů z prostředí provětrávané mezery v zimním období a komparativním způsobem na výpočetních modelech a na modelech experimentálních.

<sup>66</sup> ŠAGÁT, Erik. *Větrání obvodových plášťů budov: Zkrácená verze PhD Thesis*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=157008](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157008). Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka. s.13

<sup>67</sup> Tamtéž s.17

Z výsledků následně vyplynulo, že vliv geometrie parapetního / atikového plechu a jeho pozice vůči výfukovému otvoru z prostředí provětrávané mezery je významný. Dále bylo předpokládáno, že vypočtené / naměřené rozdíly budou v letním období ještě větší. Rozdíly teplot vzduchu v provětrávané mezeře a venkovního vzduchu v méně příznivé geometrii zakončení parapetního / atikového plechu dosahovaly v poledních hodinách zimního dne (tedy pravděpodobně s vlivem insolace) cca 20 °C, v příznivé geometrii pak cca 12 °C, resp. u méně příznivého zakončení parapetních / atikových plechů dochází k přehřívání vzduchu ve větrané mezeře o cca 8 °C více než u variant předchozích.

**Pozn.:** v zimním období se tato skutečnost jeví na straně bezpečnosti, resp. vliv insolace fasádního obkladu může mít příznivý vliv na prochlazení konstrukce vlivem pasivních teplotních zisků. Naopak v letním období se taková konstrukce obvodového pláště více ohřívá za současného snížení rychlosti proudění vzduchu v provětrávané mezeře, což může vést k vyšším teplotním ziskům netransparentní části obvodového pláště budovy.

### **c/ Vliv lokálního zúžení provětrávané mezery na funkčnost konstrukce osluněného obvodového pláště<sup>68</sup>**

U experimentálních modelů bylo pro tloušťky provětrávané mezery 20, 40 a 60 mm nastaveno zúžení profilu větrané mezery až na 5 mm (např. v souladu s regulativem německého cechu FVHF – Fachverbandes Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden na zúžení profilu větrané mezery z důvodu požární bezpečnosti – vkládání protipožárních přepážek proti šíření požáru v prostředí větrané mezery), přičemž druhý panel byl vždy bez zúžení, tedy s plným profilem tloušťky provětrávané mezery 20, 40 a 60 mm.

Z výsledků pak vyplynul zřejmý vliv lokálního zúžení na snížení rychlosti proudění vzduchu v mezeře, přičemž vliv zúžení tloušťky až na 5 mm byl patrnější u mezer větších tloušťek (v případě mezery tl. 40 mm tvoří onen zúžený profil až na 5 mm 12.5 % nezúženého průřezu mezery, v případě mezery tl. 60 mm pouze 10%). V takových případech klesá rychlost proudění o více než 50% oproti rychlosti proudění bez zúženého profilu provětrávané mezery.

---

<sup>68</sup> ŠAGÁT, Erik. *Větrání obvodových pláštů budov: Zkrácená verze PhD Thesis*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=157008](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157008). Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka. s.18

#### **d/ Vliv otevřených spár fasádního obkladu obvodového pláště s provětrávanou mezerou<sup>69</sup>**

U experimentálních modelů byly osazeny dva různé obklady vnějšího pláště. Jeden panel byl opatřen malorozměrovým fasádním obkladem s otevřenými spárami, druhý pak velkoplošným obkladem bez otevřených spár. Opět byly v letním období komparativně zkoumány dva parametry – teplota a rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře, za identických vnějších podmínek, přičemž vliv větru nebyl zaznamenán, neboť rychlost větru v době měření byla minimální.

Výsledky ukázaly, že vliv otevřených spár fasádního obkladu osluněné fasády v letním období na celkové přehřívání konstrukce je významný. Rozdíly teplot v odpoledních hodinách letního dne činil až cca 8 °C ve prospěch obkladu s otevřenými spárami oproti bezesparému velkoplošnému obkladu. Rozdíl teploty vzduchu v mezeře osluněné fasády v odpoledních hodinách letního dne pak činil až cca 30 °C v případě fasádního obkladu s otevřenými spárami a až cca 22 °C v případě obkladu bezesparého. Otevřené spáry pak také vykazovaly negativní vliv na rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře, resp. rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře za maloformátovým obkladem s otevřenými spárami byla nižší než v případě velkoplošného obkladu beze spár.

#### **e/ Vliv osazení reflexní fólie v konstrukci obvodového pláště s provětrávanou mezerou**

V tomto případě byl zkoumán teoretický vliv aplikace reflexní fólie s nízkoemisivním povlakem na pozici difúzně otevřené fólie bez povlaku na vnějším líci souvrství tepelné izolace. Analyzovány byly hodnoty teploty vzduchu v prostředí provětrávané mezery a teploty na povrchu fólie.

Na základě výsledku měření byl prokázán významný vliv aplikace reflexní fólie na snížení přehřívání obvodového pláště budovy. Zatímco teplota osluněného obkladu fasády se v odpoledních hodinách letního dne téměř nelišila, rozdíl povrchové teploty reflexní a běžné difúzní fólie byl až cca 5 °C ve prospěch reflexní fólie s nízkoemisivním povlakem.

**Zhodnocení:** autor posoudil poměrně široké spektrum aspektů majících vliv na návrh a chování dvouplášťových konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou. Závěry lze zobecnit přibližně takto:

- tloušťka provětrávané mezery a vřazené aerodynamické odpory mají zásadní vliv na rychlost proudění a teplotu vzduchu v mezeře osluněné provětrávané fasády

---

<sup>69</sup> ŠAGÁT, Erik. *Větrání obvodových plášťů budov: Zkrácená verze PhD Thesis*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=157008](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157008). Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka. s.19

- použití maloformátových obkladů vnějšího pláště s otevřenými spárami má negativní vliv na rychlost proudění a teplotu vzduchu v provětrávané mezeře. Rychlost proudění vzduchu se snižuje a teplota vzduchu v mezeře stoupá.

- zlepšení rychlosti proudění a snížení teploty vzduchu v provětrávané mezeře nemá zásadní vliv na snížení přenosu tepelné energie sáláním mezi vnějším a vnitřním pláštěm dvouplášťové konstrukce, ale i menší přínos (např. aplikací reflexních fólií, nebo obecně zajištěním dostatečného proudění vzduchu v provětrávané mezeře vhodným detailním návrhem) je adekvátní z hlediska snížení tepelné zátěže (pasívních teplotních zisků) v letním období.

Autor studie v rámci svého navazujícího výzkumu za dobu od vypracování zmíněné dizertační práce jistě s největší pravděpodobností postoupil dále, nicméně jako velmi zajímavá se jeví analýza chování konstrukcí obvodových plášťů s provětrávanou mezerou v zimním období, např. využití radiace mezi vnějším a vnitřním pláštěm osluněné fasády nejen pro případné tepelné zisky, ale také pro vylepšení bilance případné zkondenzované vlhkosti na vnitřním líci fasádního obkladu v zimním období.

## C/ METODIKA

### C.1/ VÝPOČTOVÝ MODEL

Pro potřeby disertační práce byl zvolen jednoduchý výpočtový model dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s větranou mezerou, s vnějším pláštěm tvořeným velkoplošným fasádním obkladem z vláknocementových fasádních desek Cembrit Solid a vnitřním pláštěm s nosnou vrstvou zdiva z novodobých keramických zdících materiálů v ref. standardu Porotherm. Výška konstrukce ve výpočtovém modelu byla zvolena na výšku cca jednoho podlaží, tedy 3 m. Z tohoto pohledu se tedy jedná o běžnou stavební konstrukci obvodové stěny, která typově reprezentuje dva možné způsoby zabudování:

- např. obvodový plášť štítové stěny administrativní budovy, bytového domu, nebo obecně budovy občanské vybavenosti na způsob vyzdívaného skeletu (Obr. 24)
- např. obvodový plášť bytového domu nebo rodinného domku – tedy klasický vyzdívaný stěnový systém s použitím kusových staviv z novodobých keramických zdících materiálů



Obr. 24 - Příklad referenční fasády - dvouplášťová konstrukce s větranou mezerou a s obkladem z vláknocementových desek Cembrit Solid - Hotel Miura, Čeladná. Zdroj: fotoarchiv autora.

### C.1.1/ Skladba konstrukce

**Tepelně technické parametry konstrukce obvodového pláště:** pro účel výpočtového modelu byla zvolena skladba splňující dle ČSN 73 0540-2, Tab.3/ doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro budovy převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu +18 °C až +22 °C včetně, tedy hodnotou  $U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Důvody této volby jsou:

- jedná se o běžné hodnoty používané v projekční praxi, kdy projektanti po dohodě s investorem volí s ohledem na možný vývoj tepelně technických požadavků tuto „střední“ cestu mezi normou požadovanou hodnotou  $U_{N,20}$  a normou doporučenou hodnotou pro pasivní budovy  $U_{pas,20}$ . A tuto, z pohledu normy střední cestu, volí odborná veřejnost jako minimální tepelně technický požadavek. Trend jednoznačně směřuje k udržitelnému stavitelství.

- z pohledu tepelné techniky a očekávaných stavů dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s větranou mezerou lze u konstrukce s doporučenými hodnotami součinitele prostupu tepla lze logicky očekávat větší tloušťku souvrství tepelné izolace, a tedy menší dotaci tepla prostupujícího stavební konstrukcí z interiéru. Lze předpokládat, že tyto stavy budou mít nepříznivější vliv na kvalitu prostředí v provětrávané mezeře a účinek oslunění fasády bude patrnější.

**Zohlednění vlivu systémových tepelných mostů:** vzhledem k tomu, že předmětem analýzy je dvouplášťová konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou, kdy souvrství vnitřního pláště tvoří nosná konstrukce obvodového pláště vyzdívaná z kusových staviv, tepelná izolace na bázi minerálních vláken s difúzní fólií na svém vnějším líci a vnější plášť tvoří deskový velkoformátový obklad z vláknocementových fasádních desek Cembrit Solid na nosném ocelovém pozinkovaném roštu, je vliv systémových tepelných mostů zohledněn započtením klasických bodových kotev ref. typu Spidi v počtu  $n=4 \text{ ks/m}^2$  konstrukce. Tvar kotev: L profil s dosedací plochou / přírubou 80/90 mm, s vložením podložky pro přerušení tepelného mostu ref. Thermostop tl.4 mm se součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda=0,087 \text{ W/mK}$ . Započitatelným výsledkem pro účel výpočtového modelu (pomocí předprogramovaného pomocného výpočtu ve výpočetním programu MEZERA 2017 K-CAD s.r.o., dle metodiky doc. Dr. Ing. Zbyňka Svobody publikovaného v TOB (Tepelná ochrana budov) 5/2007 – Tepelné efekty bodových kotev zavěšených fasádních obkladů) je pro kotvení nosného roštu fasádního obkladu zohledněn bodový činitel prostupu tepla kotvy  $\lambda=0,078 \text{ W/K}$ , výsledná redukováná tepelná vodivost tepelné izolace  $\lambda=0,128 \text{ W/mK}$  (s volitelnou bezpečnostní přírážkou 0,005 W/K).

Ovlivnění ekvivalentní tepelné vodivosti tepelné izolace ze strany bodových kotev nosného roštu fasádního obkladu lze stanovit ze vztahu<sup>70</sup>:

$$\lambda_{\text{eqv}} = d / (U^{-1} - R_{\text{si}} - R_{\text{se}} - R_{\text{w}}) \quad (\text{W/mK}) \quad (1)$$

kde  $d$  je tloušťka tepelné izolace (m),  $R_{\text{si}}$  a  $R_{\text{se}}$  jsou tepelné odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ),  $R_{\text{w}}$  je tepelný odpor nosné stěny obvodového pláště ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ) a  $U$  je součinitel prostupu tepla ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ), který lze s vlivem kotev stanovit jako

$$U = 1 / (R + R_{\text{si}} + R_{\text{se}}) + (n \cdot \lambda) / A \quad (\text{W}/(\text{m}^2\text{K})) \quad (2)$$

kde

$R$ ... tepelný odpor konstrukce bez vlivu kotev ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )

$n$ ... počet kotev na  $1 \text{ m}^2$  fasády

$\lambda$ ... bodový činitel prostupu tepla kotvy ( $\text{W/K}$ )

$A$ ... plocha charakteristického výseku konstrukce fasády ( $\text{m}^2$ ).

**Volba materiálového řešení nosné konstrukce obvodového pláště:** pro účely výpočtového modelu bylo zvoleno materiálové a technické řešení stěnové konstrukce vyzdívané z kusových staviv na bázi keramických zdících bloků ref. systému Porotherm. Důvodem této volby je fakt, že vyjma skutečnosti, že se jedná o jedno z nejpoužívanějších řešení v současnosti, tak vyzdívaná konstrukce vykazuje horší parametry z hlediska difúze vodní páry než klasická železobetonová monolitická stěna (zjednodušeně řečeno vykazuje menší hodnoty difúzního odporu), vlastní difúzi vodní páry a její projevy lze tedy očekávat ve větší míře, než kdyby byla zvolena železobetonová monolitická stěna. Konstrukce s železobetonovým monolitickým nosným pláštěm by z pohledu difúzního odporu vykazovala lepší parametry a výsledky. Volba vyzdívané konstrukce z keramických zdících bloků ref. Porotherm se tedy zdá být z pohledu charakteristických parametrů difúze vodní páry tzv. „na straně bezpečnosti“.

**Skladba analyzované konstrukce z hlediska dvourozměrného vedení tepla:** byla posouzena běžnými nástroji používanými v běžné projekční praxi, vyjma empirie návrhu založené na zkušenostech a odborném odhadu autora. Návrh skladby byl posouzen softwarem K-CAD, spol. s r.o. – Mezera 2017 a Teplo 2017. Na základě tepelně-technického výpočtu pomocí softwaru

---

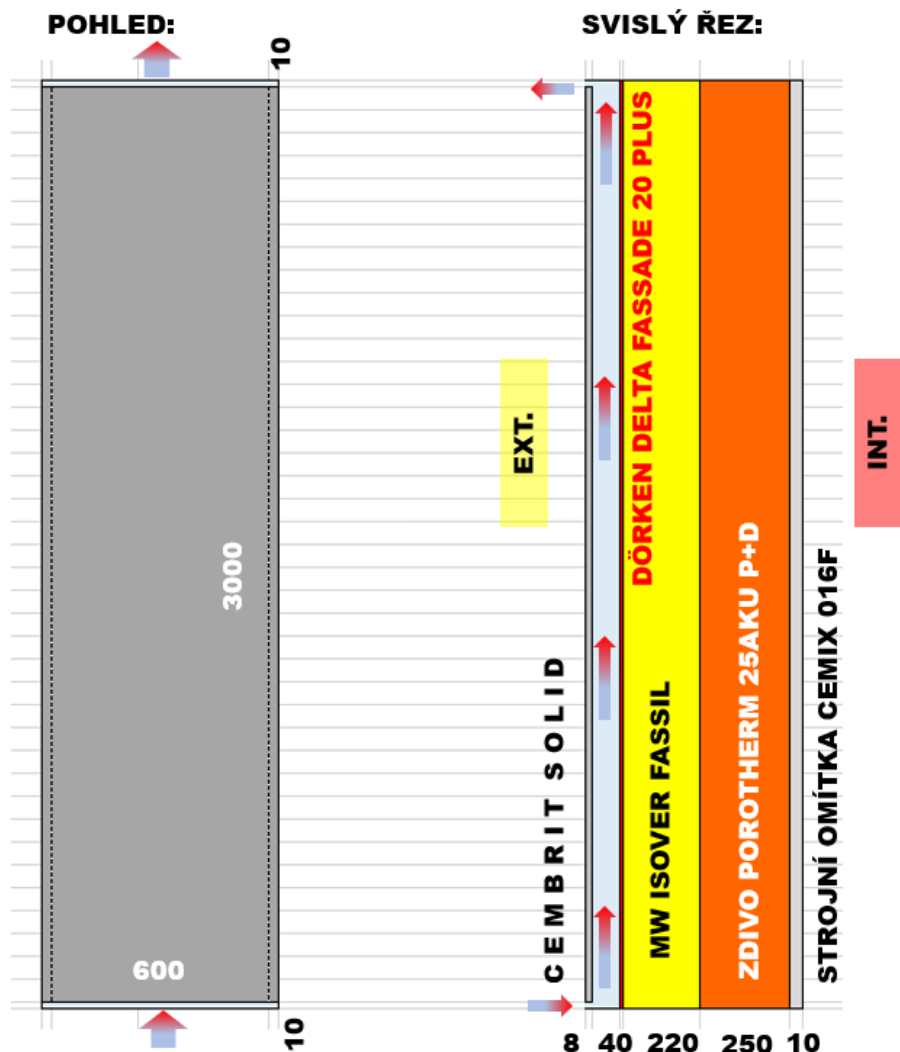
<sup>70</sup> SVOBODA, Zbyněk. Tepelné efekty bodových kotev zavěšených fasádních obkladů. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 24. 3. 2008 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/4737-tepelne-efekty-bodovych-kotev-zavesenych-fasadnich-obkladu>

Teplo 2017 K-CAD s.r.o. byl, vyjma výše zmíněného posouzení doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla  $U \leq U_{rec,20}$  (W/m<sup>2</sup>K), stanoven i přídavný difúzní tok vodní páry do větrané mezery ze strany interieru  $G_d = 8,369 \cdot 10^{-8}$  kg/m<sup>2</sup>s = 0,000301 kg/m<sup>2</sup>h = 0,301g/m<sup>2</sup>h. Tato hodnota byla zavedena do výpočtu hodnocení konstrukce s otevřenou (větranou) vzduchovou vrstvou, provedeného pomocí softwaru Mezera 2017 K-CAD s.r.o.

**Skladba konstrukce (z interieru do exterieuru) (Obr. 25):**

- **vnitřní jednovrstvá sádrová strojní omítka:** ref. CEMIX 016 F, tloušťka 10 mm ( $\lambda_u=0,552$  W/mK,  $C_u=840$  J/kgK, obj. hm.=1300 kg/m<sup>3</sup>,  $\mu_u=5...$  parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)
- **zdivo z keramických zdících bloků:** ref. Porotherm 25 AKU P+D, tl. 250 mm ( $\lambda_u=0,36$  W/mK,  $C_u=1000$  J/kgK, obj. hm.=980 kg/m<sup>3</sup>,  $\mu_u=10...$  parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)
- **tepelná izolace na bázi minerálních vláken:** ref. ISOVER FASSIL, tl. 220 mm ( $\lambda_u=0,037$  W/mK,  $C_u=800$  J/kgK, obj. hm.=50 kg/m<sup>3</sup>,  $\mu_u=1...$  parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)
- **difúzně otevřená fólie:** ref. Dörken Delta Fassade 20 Plus, tl. 0,3 mm ( $\lambda_u=0,170$  W/mK,  $C_u=1000$  J/kgK, obj. hm.=930 kg/m<sup>3</sup>,  $\mu_u=67...$  parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)
- **provětrávaná mezera:** tl.40 mm
- **obklad fasády:** velkoplošné vláknocementové desky ref. CEMBRIT Solid, tl. 8 mm ( $\lambda_u=0,5$  W/mK,  $C_u=960$  J/kgK (z katalogu materiálů Teplo 2017 a Mezera 2017 K-CAD s.r.o. převzata hodnota pro azbestocementové desky), obj. hm.=1550 kg/m<sup>3</sup>,  $\mu_u=400...$  parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)





Obr. 25 - Schéma skladby a geometrie výpočtového modelu. Zdroj: autor.

### C.1.2/ Geometrie výpočtového modelu

Pro účel analýzy výpočtového modelu byl zvolen typový modul dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou (skladba viz. výše), v geometrii odpovídající modulaci svislého nosného roštu fasádního obkladu po 600 mm, na výšku cca jednoho podlaží – tedy 3000 mm (Obr. 26). Pro účel výpočtu je předpokládáno, že každý takový typový modul tvoří samostatnou část konstrukce, tedy že provětrávané mezery sousedních typových modulů nejsou navzájem propojeny. Každý takový typový modul je samostatně napojen na vnější prostředí – průběžnými spárami výšky 10 mm v dolní i v horní části. Tyto spáry jsou zakryté větracími mřížkami aerační plochy 58 % (= zakrytí 42 %), mřížky tedy zároveň tvoří aerodynamický odpor

na vstupním profilu ve spodní části a výstupním profilu v horní části provětrávané mezery tam, kde je napojena na vnější prostředí.



Obr. 26 - Schéma geometrie výpočtového modelu. Zdroj: autor

### C.1.3/ Orientace a sklon výpočtového modelu fasády

Pro účel výpočtového modelu byla zvolena klasická fasádní konstrukce se sklonem 90° od horizontální roviny (ve smyslu dopadajícího slunečního záření) a otočená k jihu. Důvodem výběru jižní fasády je fakt, že cílem předkládané práce je analýza chování konstrukce v zimním období, ve kterém se předpokládá větší míra výskytu kolizních jevů v souvislosti s výskytem kondenzace vodních par difundujících ve směru tepelného toku a v souvislosti s velikostí diferencí teplotního pole konstrukce obvodového pláště. V tomto období lze v našich zeměpisných šířkách očekávat u jižní fasády účinky oslunění směrem k řešení problematiky vlhkostního i teplotního pole

konstrukce obvodového pláště. S ohledem na trajektorii Slunce jižní fasáda zůstává v ranních hodinách delší dobu bez přímého slunečního záření a je vystavena delší dobu účinkům očekávaných nízkých teplot v ranních hodinách. Prioritně byly výpočty prováděny pro jižní fasádu a vybrané stavy byly dále v ranních hodinách měsíce ledna dopočteny pro východní fasádu, v odpoledních hodinách stejně pro fasádu západní. Účinek vlivů vnějšího prostředí v noční době (před východem Slunce a po západu Slunce) byl pak počítán pouze pro jižní fasádu. Jedinou proměnnou pro východní a západní fasádu v období bez oslunění by byl účinek větru, tedy jeho směr, jež by se odrazil pouze v zohlednění orientace vstupních a výstupních otvorů provětrávané mezery formou návětrné či závětrné strany. Proto byla v rámci výpočtu noční doba (= doba bez oslunění fasády) u východní a západní fasády zanedbána, resp. byly dopočítávány pouze krátkodobé stavy dopoledního oslunění východní fasády a odpoledního oslunění fasády západní, obojí však s krátkodobými několikahodinovými přesahy těchto fasád bez oslunění. Při hodnocení výsledků, získaných dopočtem pro východní a západní fasádu v lednu, byly výsledky výpočtu zhodnoceny jako méně významné pro celkové chování takto orientovaných fasád, a proto dále nebyly dopočty východních a západních fasád prováděny v dalších měsících. Účinky oslunění východní a západní fasády byly z výše uvedených důvodů hodnoceny pouze v krátkých obdobích dne měsíce ledna.

#### **C.1.4/ Stínění fasád výpočtového modelu**

Klimatická data, získaná z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782, zohledňují základní charakteristiky vyplývající ze zeměpisné polohy lokality a poskytují konkrétní hodinová data průměrné intenzity globálního záření ( $W/m^2$ ) v průběhu roku a jejich přerozdělení na hodnoty průměrné intenzity difúzního záření ( $W/m^2$ ) a přímého slunečního záření na horizontální plochu ( $W/m^2$ ). Tato data tedy již zohledňují vliv zeměpisných souřadnic zájmové lokality, vliv nadmořské výšky zájmové lokality, vliv průchodu přímého slunečního záření atmosférou, vliv jejího znečištění a vliv oblačnosti v dané době. Tato data ovšem nezohledňují případný vliv stínění modelové fasády urbánním prostředím, okolními budovami, vzrostlou zelení apod. Pro účel analýzy výpočtového modelu byly tyto vlivy, jistě důležité pro analýzu vlivu insolace fasády konkrétní budovy v reálném prostředí, zanedbány. Výpočtový model a jeho analýza vychází z předpokladu absence stínění fasády okolní výstavbou, vzrostlou zelení či tvarováním terénu, všechny posuzované fasády ve všech analyzovaných časových obdobích jsou osluněny přímým a difúzním slunečním zářením přepočteným z osluněné horizontální plochy na plochu svislou bez vlivu dalšího stínění.

### **C.1.5/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou**

Jedná se o zohlednění výměny tepla sáláním mezi vnějším pláštěm dvouplášťové konstrukce provětrávané fasády a okolím. Tato výměna může mít pro konstrukci obvodového pláště pozitivní vliv v případě oslunění fasády v denních hodinách – hodnoty sluneční radiace byly v jednotlivých hodinových krocích výpočtů zadávány z dat referenčního klimatického roku formou konkrétních hodinových dat průměrné intenzity globálního záření ( $W/m^2$ ) v průběhu roku a jejich přerozdělení na hodnoty průměrné intenzity difúzního záření ( $W/m^2$ ) a přímého slunečního záření na horizontální plochu ( $W/m^2$ ) dále přepočtené na  $1m^2$  svislé plochy fasády orientované vůči světovým stranám. Negativní vliv této výměny se projevuje v noci jako vliv tzv. studeného sálání za chladných jasných nocí, kdy tento v podstatě ztrátový tepelný tok z povrchu fasády směrem k obloze může dosáhnout až řádově desítky  $W/m^2$ . Důsledkem je pak významný pokles povrchových teplot na vnějším plášti konstrukce.

Tento ztrátový tok je z důvodu zjednodušení a urychlení zaveden do výpočtu průměrnou hodnotou  $-28,2 W/m^2$ , která je výsledkem pomocného předprogramovaného výpočtu softwaru Mezera 2017 K-CAD s.r.o. Jako výchozí parametry byly zadány hodnoty:

- emisivita vnějšího povrchu dvouplášťové konstrukce 0,9
- typ svislé konstrukce v městském centru.

Pro získání průměrné hodnoty  $-28,2 \text{ W/m}^2$  byl proveden v kroku po 2 až  $3^\circ\text{C}$  výpočet pro několik vnějších teplot v rozptylu od  $+2^\circ\text{C}$  do  $-15^\circ\text{C}$ , pro které se hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou pohybovala v rozmezí od  $-28,1 \text{ W/m}^2$  do  $-28,5 \text{ W/m}^2$ :

Vnější teplota ( $^\circ\text{C}$ )	Ztrátový tepelný tok mezi noční oblohou a fasádou ( $\text{W/m}^2$ )
2,00	-28,1
0,00	-28,2
-2,00	-28,4
-5,00	-28,5
-8,00	-28,4
-10,00	-28,4
-12,00	-28,3
-15,00	-28,1

Tab. 5 - Hodnoty ztrátového toku mezi fasádou a noční oblohou vypočítané předprogramovaným pomocným výpočtem Mezera 2017 K-CAD s.r.o.

Průměrná hodnota hustoty tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou  $-28,2 \text{ W/m}^2$  byla započtena do všech časových úseků výpočtu v průběhu nočního období, vliv jejího snížení případnou oblačnou či zataženou oblohou byl zanedbán, výpočty byly prováděny na straně bezpečnosti z důvodu negativního vlivu na četnost výskytu jevu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády nebo kondenzace v proudícím vzduchu v provětrávané mezeře.

### C.1.6/ Parametry vnitřního prostředí

Kvalita vnitřního prostředí byla ve výpočtovém modelu zadána jednotně z katalogu výpočtového softwaru Mezera 2017 a Teplo 2017 K-CAD s.r.o. takto:

- Návrhová vnitřní teplota v zimním období  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$  dle Tab. I.1/, ř.1.1/ ČSN 73 0540-3 pro obývací místnosti a kuchyně trvale užívaných místností obytných budov.

- Přirážka  $\Delta\theta_{ai} = 0,6\text{K}$  vyrovnávající rozdíl mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch dle Tab. I.2/ ČSN 73 0540-3 pro budovy bytové a občanské, realizované po roce 1995, s původními nesanovanými konstrukcemi, s původní úrovní tepelné ochrany, vytápěné radiátory ústředního vytápění.

- Teplota vnitřního prostředí  $T_{ai} = +20,6^\circ\text{C}$  jako výsledek  $\theta_i = 20^\circ\text{C} + \Delta\theta_{ai} = 0,6 \text{ K}$ .

- Relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $\phi = 50 \%$  dle Tab. I.1/, ř.1.1/ ČSN 73 0540-3 pro obývací místnosti a kuchyně trvale užívaných místností obytných budov.

### **C.1.7/ Volba výpočetních stavů s ohledem na výskyt klimatických jevů v denních intervalech**

Výběr výpočtových stavů vychází z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782. S ohledem na analýzu stavebně-fyzikálních poměrů v provětrávané mezeře dvouplášťové konstrukce obvodového pláště prioritně v zimním období je sledovaným obdobím rozpětí měsíců listopad až únor.

Konkrétní časová období z těchto měsíců pak byla vybírána na základě indikativního výpočtu náhodně vybraných dnů období měsíce ledna s rozdílnými teplotami a rozdílnými úrovněmi globálního slunečního záření přepočítaného na  $1 \text{ m}^2$  svislé plochy jižní fasády. Dle získaných výsledků pak byl proveden cílový výběr časových úseků jednotlivých výpočtových stavů z celého zájmového období měsíců listopadu, prosince, ledna a února.

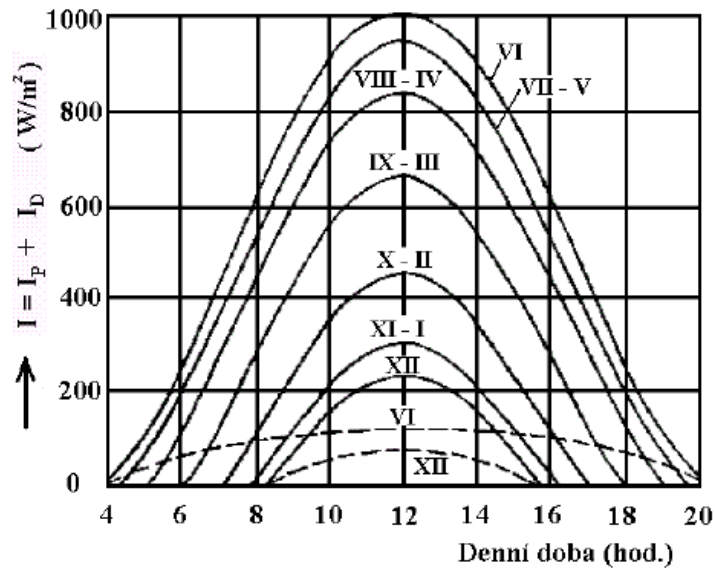
Vzhledem k tomu, že aktuální stav legislativy pro provádění tepelně-technických výpočtů nedefinuje charakteristiky denního období z hlediska parametrů vnějšího prostředí, bylo pro účely této práce stanoveno samostatné názvosloví charakterizující jednotlivé dny ve sledovaném období z hlediska parametrů vnějšího prostředí.

Z hlediska hodnocení globálního slunečního záření, na jehož základě lze v databázi referenčního klimatického roku rozpoznat jasný, polojasný, oblačný a zatažený den, bylo využito přibližného hodnocení užívaného v oboru využívání solárních zařízení v ČR. Tato zařízení pracují s přibližnou charakteristikou cca stejného poměru přímého a difúzního záření v letním období a pro zimní období pak s podstatně vyšším podílem přímého a difúzního záření díky častějšímu oblačnému období. Zjednodušeně je ale počítáno, že za jasných dnů je v ČR hodnota globálního záření v rozmezí  $600$  až  $1000 \text{ W/m}^2$ , za dnů zatažených pak v rozmezí  $40$  až  $200 \text{ W/m}^2$ . Typické hodnoty intenzit globálního záření a podílu difúzního záření jsou pak následující (Tab. 6):

Charakteristika	Globální záření ( $\text{W/m}^2$ )	Podíl difúzního záření (%)
Jasně nebe	800 až 1000	10
Opar	600 až 900	až 50
Mlhavý podzimní den	100 až 300	100
Zatažený zimní den	50	100
Celoroční průměr	600	50 až 60

Tab. 6 Typické hodnoty intenzity globálního záření a podílu difúzního záření. Zdroj: <http://www.ballbrno.cz/solarni-kolektory>

Dalším přibližným vodítkem může být i graf intenzity globálního slunečního záření na vodorovnou plochu dle grafu uvedeného na Obr. 27 níže:



Obr. 27 - Graf intenzity globálního slunečního záření na vodorovnou plochu. Zdroj: CIHELKA, Jaromír 1984. Praha: SNTL, Sluneční vytápěcí systémy. s. 206

Tento graf popisuje průběh celkové intenzity slunečního záření na vodorovnou plochu v denní době při součiniteli znečištění atmosféry  $Z=3$ , pro oblast zeměpisné šířky  $50^\circ$ . Jednotlivé křivky znázorňují charakteristický den v měsíci za jasného a slunečního počasí. Čárkovaná čára pak znázorňuje průběh intenzity difúzního záření v měsících června a prosince. Difúzní záření za jasného počasí zpravidla nepřekračuje hodnotu  $100 \text{ W/m}^2$ , což je cca 10 až 15 % z celku globálního záření.

Jako další podrobnější kritéria bylo sledování:

- četnosti klimatických jevů v několika dnech jdoucích po sobě
- četnosti klimatických jevů směřujících ke změně klimatu v následujících dnech, indikované např. otočením proudění větru a jeho ustálením po dobu jednoho dne
- zvýšené hodnoty relativní vlhkosti vnějšího prostředí – hodnoty nad 90 % relativní vlhkosti po převážnou dobu jednoho dne za současné hodnoty globálního slunečního záření indikujícího zatažený den. Zjednodušeně řečeno indikace období inverzního zimního počasí.
- zvýšené hodnoty rychlosti větru v průběhu dne.

Na základě výše uvedeného byl pro výpočet proveden výběr následujících výpočtových stavů:

PŘEHLED VÝPOČTOVÝCH STAVŮ - VÝBĚR Z REFERENČNÍHO KLIMATICKÉHO ROKU										
Měsíc	Den	Charakteristika dne	Orientace fasády	Teplota vzduchu		Globální záření		Relativní vlhkost vzduchu		Poznámka
				min	max	min	max	min	max	
				(°C)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> )	(%)	(%)	
XI	20.X I	teplý zatažený den	jih	-0,8	4,2	4	25	87,5	96,6	zvýšená vlhkost
	21.X I	teplý polojasný den	jih	0,4	5,3	12	566	60,7	90,1	
	27.X I	chladný zatažený den	jih	-0,3	1,9	5	29	88,7	96,9	zvýšená vlhkost
	28.X I	studený zatažený den	jih	-1,7	-0,1	7	103	85,2	96,6	zvýšená vlhkost
XII	22.X II	teplý polojasný den	jih	-3,2	3,6	7	856	68,1	94,2	vítr min2,9/max8,9 m/s
	23.X II	mrazivý polojasný den	jih	-11,7	-3,5	8	662	65,1	91,5	
	24.X II	mrazivý jasný den	jih	-12	-4,9	45	783	66,7	90,9	
	25.X II	mrazivý zatažený den	jih	-11,7	-0,4	8	63	52,5	81,8	
	26.X II	chladný zatažený den	jih	-1	2,8	8	63	80	89,2	vítr min2,9/max9,9 m/s
I	01.I	teplý zatažený den	jih	1	4,8	4	29	76,5	94,7	
	03.I	teplý oblačný den	jih	7,3	11,8	6	413	70,3	89,5	
	11.I	teplý zatažený den	jih	7,1	10,1	3	24	70,6	86,3	
	14.I	studený jasný den	jih	-7,2	0,7	62	809	54,8	93,8	
	15.I	mrazivý jasný den	jih	-9,6	-1	64	800	49,1	100	pouze 9.00 až 19.00hod
	15.I		dopočet východ			22	475			
	15.I		dopočet západ			19	380			
	16.I	mrazivý jasný den	jih	-7,7	-0,9	42	739	66	100	pouze 9.00 až 19.00hod
	16.I		dopočet východ			20	437			
	16.I		dopočet západ			21	346			
	17.I	mrazivý jasný den	jih	-10,1	-0,4	66	782	59,3	100	
18.I	mrazivý jasný den	jih	-9,1	1,8	43	947	62,9	100		
31.I	mrazivý jasný den	jih	-13,5	-4,3	1	813	50	100		
II	23.II	mrazivý polojasný den	jih	-6,4	-0,1	17	555	77,8	98,3	vítr min1,5/max7,9 m/s
	24.II	mrazivý jasný den	jih	-11,3	-4,4	56	833	64,9	100	
	25.II	mrazivý jasný den	jih	-13,7	-2,2	18	779	44,2	94,7	
	26.II	mrazivý jasný den	jih	-7,3	0,2	23	806	63,8	93,5	
	27.II	mrazivý jasný den	jih	-7,5	0,8	17	803	64,6	97,1	

Tab. 7 – Přehled výpočtových stavů. Výběr z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782



## C.2/ VÝPOČETNÍ PŘÍSTUPY

### C.2.1/ Teplota a rychlost proudění v otevřené vzduchové vrstvě dle ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov, Část 4: Výpočtové metody

Pro analýzu poměrů uvnitř větrané mezery dvouplášťových konstrukcí je možné zvolit různé přístupy. Zjednodušený postup výpočtu se nachází v normě ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody:<sup>71</sup>

**Teplota na počátku otevřené vzduchové vrstvy**  $\theta_{x_0}$  (°C) se shoduje s výpočtovou teplotou venkovního (do větrané mezery přiváděného) vzduchu, obvykle:

$$\theta_{x_0} = \theta_e \quad (3)$$

kde

$\theta_e$ ... návrhová teplota venkovního vzduchu v zimě (°C), tedy teplota daného místa, která se stanoví jako maximální hodnota z dvaceti hodnot nejnižších dvoudenních průměrů  $\theta_{2dm}$  denních průměrných teplot  $\theta_{dm}$  (dny musí následovat po sobě) daného místa za období 20 let.

**Teplota na konci vzduchové vrstvy**  $\theta_{x_k}$  (°C) se stanoví:

**a/** přibližně, za předpokladů pomalého proudění vzduchu a dostatečné délky otevřené vzduchové mezery

$$\theta_{x_k} = \theta_{cav} = (U_v \cdot \theta_{ai} + U_z \cdot \theta_e) / (U_v + U_z) \quad (4)$$

kde

$U_v$ ... součinitel prostupu tepla části konstrukce mezi vnitřním prostředím a otevřenou vzduchovou vrstvou (W/m<sup>2</sup>K)

$U_z$ ... součinitel prostupu tepla části konstrukce mezi otevřenou vzduchovou vrstvou a vnějším prostředím (W/m<sup>2</sup>K)

$\theta_{ai}$ ... výpočtová teplota vnitřního vzduchu (°C)

$\theta_e$ ... výpočtová venková teplota (°C)

**b/** přesněji z průběhu teplot v otevřené vzduchové vrstvě  $\theta_x$  (°C), stanovených dle vztahů:

---

<sup>71</sup> ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Výpočtové metody*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. s.17

Průběh teplot v otevřené vzduchové vrstvě:

$$\theta_x = \theta_{cav} + ((\theta_{x0} - \theta_{cav}) / \exp(X)), \text{ kde} \quad (5)$$

$$\theta_{cav} = (U_v \cdot \theta_{ai} + U_z \cdot \theta_e) / (U_v + U_z) - \text{viz. vztah (4) výše.} \quad (6)$$

$$X = x \cdot ((U_v + U_z) / 1300 \cdot d_{cav} \cdot v_{cav}) \quad (7)$$

kde

$x$ ... vzdálenost od počátku otevřené vzduchové vrstvy (m)

$d_{cav}$ ... tloušťka otevřené vzduchové vrstvy (m)

$v_{cav}$ ... rychlost proudění vzduchu v otevřené vzduchové vrstvě (m/s), stanovená:

**a/** přibližně, hodnotami pro návrh a ověření ve dvou mezních polohách

$$v_{cav,min} = 0,3v_a \cdot A_1/A \quad (8)$$

$$v_{cav,max} = 0,9v_a \cdot A_1/A \quad (9)$$

kde

$A_1$ ... plocha průřezu vstupního/výstupního otvoru (m<sup>2</sup>)

$A$ ... plocha průřezu, pro který se stanovuje rychlost proudění (m<sup>2</sup>)

$v_a$ ... rychlost větru / venkovního vzduchu (m/s) dle ČSN 73 05 40-3

Tento postup navrhování a ověřování konstrukcí obvykle postačuje.

**b/** přesněji výpočtem:

$$v_{cav} = \sqrt{(K_1^2 + K_2) - K_1} \quad (10)$$

kde

$$K_1 = 0,0004 \cdot \sum(A \cdot L_j / A_j \cdot d_{Aj}^2) \cdot \sum(A_p^2 / A^2 \cdot x_p) \quad (11)$$

$$K_2 = \sum(A_p^2 / A^2 \cdot x_p) \cdot [58,84 \cdot h \cdot (T_{cav} - T_e) / (T_{cav} + 2 \cdot T_e) + (C_1 \cdot v_1^2 - C_2 \cdot v_2^2) \cdot (3 \cdot T_{cav}) / T_{cav} + 2T_e] \quad (12)$$

kde

$A$ ... plocha průřezu, pro který se stanovuje rychlost proudění (m<sup>2</sup>)

$A_j$ ... plocha průřezu, pro který se uvažuje tlaková ztráta třením ( $m^2$ )

$L_j$ ... délka úseku větrané vzduchové vrstvy, pro který se uvažuje tlaková ztráta třením (m)

$d_{A_j}$ ... aerodynamický průměr (m) stanovený dle vztahu  $d_{A_j} = 4 \cdot (A_j / o_j)$

$o_j$ ... obvod obtékaných stěn posuzovaného průřezu (m)

$A_p$ ... plocha průřezu, na který je vázán součinitel vřazeného odporu ( $m^2$ )

$x_p$ ... součinitel vřazeného odporu, kromě clony je tato hodnota vázaná vždy na menší průřez

$h$ ... výškový rozdíl mezi vstupním a výstupním otvorem větrané vzduchové mezery (m)

$T_e$ ... absolutní teplota venkovního vzduchu:  $T_e = 273,15 + \theta_e$  ( $^{\circ}C$ )

$T_{cav}$ ... absolutní teplota venkovního vzduchu na konci větrané vzduchové mezery:

$T_{cav} = 273,15 + \theta_{cav}$  ( $^{\circ}C$ ), kde  $\theta_{cav} = (U_v \cdot \theta_{ai} + U_z \cdot \theta_e) / (U_v + U_z)$

$C_1$  ( $C_2$ )... tvarový součinitel na začátku (na konci) větrané vzduchové vrstvy (-), stanovený dle ČSN 73 00 35

$v_{a1}$  ( $v_{a2}$ )... rychlost venkovního vzduchu v oblasti vstupního (výstupního) otvoru (m/s)

## **C.2.2/ Výpočty v programu Mezera2017 K-CAD, spol. s r.o.**

**Aerodynamický výpočet rychlosti proudění vzduchu v programu Mezera2017 K-CAD, spol. s r.o., uvedený v čl. A.4.5 b/ ČSN 73 0540-4 vyplývá z podmínky rovnováhy zatěžovacího tlakového rozdílu a tlakové ztráty:<sup>72</sup>**

$$\Delta p_t + \Delta p_v = \Delta p_{tř} + \Delta p_z \quad (13)$$

kde

$\Delta p_t$ ... zatěžovací tlakový rozdíl způsobený gravitací (Pa)

$\Delta p_x$ ... zatěžovací tlakový rozdíl způsobený větrem (Pa)

$\Delta p_{tř}$ ... zatěžovací tlaková ztráta způsobená třením (Pa)

$\Delta p_z$ ... zatěžovací tlaková ztráta způsobená vřazenými odpory (Pa)

---

<sup>72</sup> SVOBODA, Zbyněk. *Mezera 2017*. Kladno: Svoboda software. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/mezera/> s.25

### **Postup výpočtu rychlosti proudění vzduchu pak probíhá v několika krocích:<sup>73</sup>**

**1/** určení nejdelšího úseku dutiny, jeho průměrná průřezová plocha se dále uvažuje jako vztažná hodnota A a vypočtená rychlost proudění pak platí pro daný úsek

**2/** určení koeficientů vřazených odporů, zohledňuje se typ vtoku/výtoku vzduchu do/z mezery, náhlé rozšíření a zúžení proudu vzduchu, pozvolné rozšíření i zúžení proudu a ohyb vzduchu

**3/** určení rychlosti proudění vzduchu  $v_{cv}$  (m/s)

**4/** hodnoty rychlosti proudění v jednotlivých úsecích se určí na základě zákona kontinuity

**Výpočet průběhu teploty ve větrané vrstvě přebírá program Mezera2017** K-CAD, spol. s r.o., z ČSN 73 0540-4, čl. A.4.4, přičemž působí-li na vnější povrch konstrukce tepelný tok sáláním mezi konstrukcí a oblohou, mění se návrhová venkovní teplota podle vztahu:<sup>74</sup>

$$\theta_{e,ekv} = \theta_e + q_r/h_e \quad (14)$$

kde

$q_r$ ... tepelný tok sáláním mezi konstrukcí a oblohou (W/m<sup>2</sup>)

$h_e$ ... součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce (W/m<sup>2</sup>K)

**Výpočet průběhu tlaků vodní páry ve větrané vrstvě přebírá program Mezera2017** K-CAD, spol. s r.o., z ČSN 73 0540-4, čl. D.1.3.<sup>75</sup>

**Výslednou rychlost proudění vzduchu v otevřené vzduchové vrstvě lze nejvíce ovlivnit:** konstrukčním řešením míst s vyššími vřazenými odpory, jako je vstupní a výstupní otvor. V těchto místech se doporučuje co možná nejméně zmenšovat plochu průřezu a pečlivě zvážit aerodynamické řešení i v konstrukčních návaznostech. Minimální plochu průřezu vstupního/výstupního otvoru  $A_1$  lze stanovit ze vztahu pro  $v_{cav,max}$ .

**Je-li nutno proudění v otevřené vzduchové vrstvě bezpečně zaručit,** pak je potřeba konstrukčně zajistit dostatečnou výšku mezi vstupním a výstupním otvorem otevřené vzduchové vrstvy (nebo v krajním případě zajistit nucené proudění) a vhodné aerodynamické tvarování u vstupních a výstupních otvorů, aby k proudění docházelo i za bezvětří.

---

<sup>73</sup> SVOBODA, Zbyněk. *Mezera 2017*. Kladno: Svoboda software. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/mezera/> s.25

<sup>74</sup> Tamtéž s.25-26

<sup>75</sup> Tamtéž s.26

### **C.2.3/ Přestup tepla a proudění vzduchu v provětrávané vzduchové mezeře vícevrstevných fasád dle jiných metodik<sup>76</sup>**

Přestup tepla a prostup vlhkosti jsou u provětrávaných fasádních konstrukcí úzce spojenými procesy. Analýza prostupu tepla a pohyb vzduchu uvnitř provětrávané mezery vyžaduje popis vzájemné souvislosti přestupu tepla v provětrávané vzduchové mezeře, tedy mezi vnitřním lícem vnějšího obkladu fasády a vnějším lícem povrchu tepelné izolace.

Pokud je teplota konstrukce směrem do provětrávané mezery vyšší než teplota vzduchu v mezeře, působí v provětrávané mezeře vztlak zajišťující proud vzduchu směrem nahoru vzduchovou mezerou. Na druhou stranu, je-li teplota povrchů nižší nežli teplota vzduchu, potom proud vzduchu v mezeře směřuje směrem dolů.

Množství předaného tepla mezi vnitřním povrchem vnějšího obkladu provětrávané konstrukce a prostředím provětrávané mezery závisí na řadě faktorů ovlivňujících proces přestupu tepla, jako např.:

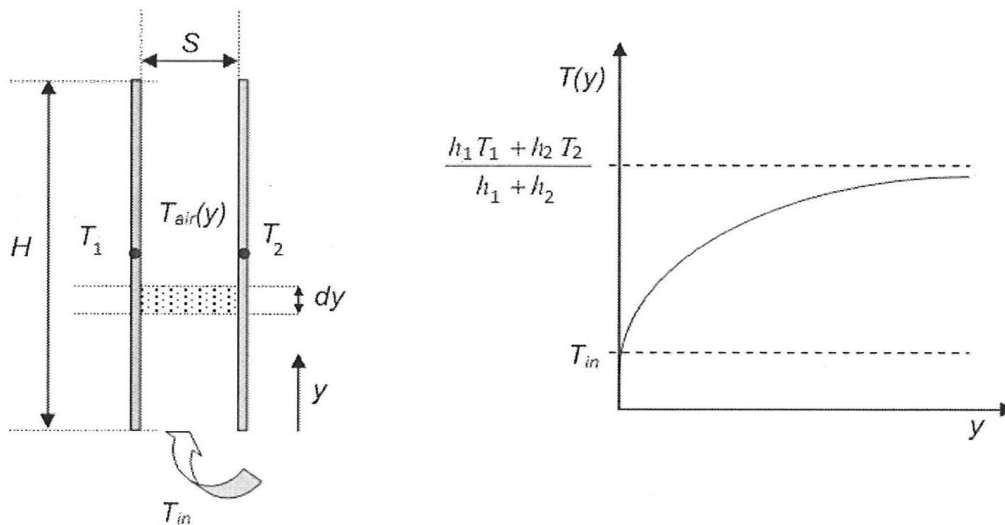
- geometrie konstrukce (šířka provětrávané mezery)
- rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře
- fyzikální vlastnosti vzduchu v provětrávané mezeře
- rychlost a směr větru ve vnějším prostředí
- rovinnost fasády

Jedná se tedy o přibližný proces závislý na velkém počtu proměnných.

Přestup tepla konvekcí mezi stěnou a provětrávanou mezerou je silně závislý na rychlosti vzduchu v provětrávané mezeře. Rychlost proudění přitom závisí na poměru výšky/délky provětrávané mezery k její tloušťce. Je-li tento poměr malý (tloušťka provětrávané mezery je vzhledem k její výšce/délce velká), přestup tepla se blíží spíše jednoduché neprovětrávané konstrukci a naopak, je-li poměr výšky/délky provětrávané mezery k její tloušťce velký, potom lze hovořit o plně provětrávaném prostředí garantovaným prouděním vzduchu v mezeře.

---

<sup>76</sup> Seferis, P. & Strachan, Paul & Dimoudi, A. & Androutsopoulos, A.. (2011). Investigation of the performance of a ventilated wall. Energy and Buildings. 43. 2167-2178. 10.1016/j.enbuild.2011.04.023.



Obr. 28 - Přestup tepla uvnitř provětrávané mezery. Zdroj: SEFERIS, P. STRACHAN, P. DIMOUDI, A. ANDROUTSOPOLOUS, A. 2011 Investigation of The Performance of A Ventilated Wall. [https://www.researchgate.net/publication/229305505\\_Investigation\\_of\\_the\\_performance\\_of\\_a\\_ventilated\\_wall](https://www.researchgate.net/publication/229305505_Investigation_of_the_performance_of_a_ventilated_wall). s. 27

Přestup tepla mezi povrchem stěny a vzduchem uvnitř provětrávané mezery lze popsat vztahem (Obr. 28):<sup>77</sup>

$$h = (N_{Us} \cdot k) / S \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (15)$$

kde

$N_{Us}$ ... **Nusseltovo číslo** (-) je poměr konvektivního a konduktivního přenosu tepla kolmo na uvažovanou hranici tekutiny/plynu, stanovený na vnějším líci tekutiny/plynu. Nusseltovo číslo blízké 1 znamená, že konvekční a vodivostní složka jsou podobné a proudění lze považovat za laminární. Větší Nusseltovo číslo – obvykle v rozmezí 100 až 1000 – odpovídá situaci, kdy je výraznější konvektivní složka a dochází k turbulentnímu proudění. Konvektivní a konduktivní tepelné toky jsou v jednoduchých případech navzájem rovnoběžné a oba dva jsou kolmé ke směru hlavního proudění tekutiny/plynu.

k... součinitel tepelné vodivosti (W/mK)

S... tloušťka vzduchové mezery (m)

<sup>77</sup> Seferis, P. & Strachan, Paul & Dimoudi, A. & Androutsopoulos, A.. (2011). Investigation of the performance of a ventilated wall. Energy and Buildings. 43. 2167-2178. 10.1016/j.enbuild.2011.04.023. s.9

Další vztah popisuje závislost Nusseltova čísla pro povrchy podél provětrávané mezery pomocí **Rayleighova čísla** a poměru geometrie provětrávané mezery:<sup>78</sup>

$$N_{Us} = Ra_s \cdot (S / 24 \cdot H) \quad (-) \quad (16)$$

kde

S... tloušťka vzduchové mezery (m)

H... výška stěny/vzduchové mezery (m)

Ra<sub>s</sub>... Rayleighovo číslo pro provětrávanou mezeru tloušťky S (m):

$$Ra_s = (\beta \cdot g \cdot (T_s - T_\infty)) / \nu \cdot \alpha, \text{ kde} \quad (17)$$

β... součinitel délkové roztažnosti plynu (K<sup>-1</sup>)

g... tíhové zrychlení (m/s<sup>2</sup>)

T<sub>∞</sub>... volná teplota tekutiny/plynu (K)

T<sub>s</sub>... ekvivalentní teplota povrchů podél vzduchové mezery (K):

$$T_s = (h_1 T_1 + h_2 T_2) / (h_1 + h_2), \text{ kde} \quad (18)$$

T<sub>1</sub> a T<sub>2</sub>... teploty vnitřních povrchů směrem do provětrávané mezery

h<sub>1</sub> a h<sub>2</sub>... součinitele tepelné vodivosti odpovídajících povrchů směrem do provětrávané mezery (W/m<sup>2</sup>K)

Rozvrstvení teploty uvnitř vzduchové mezery provětrávaných fasád dále poukazuje na pohyb vzduchu uvnitř mezery. Je-li rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře malá, potom dochází k většímu přestupu tepla mezi proudícím vzduchem a vnitřním povrchem konstrukce (tedy vnějším povrchem tepelné izolace) směrem do provětrávané mezery. Tato teplotní výměna následně podporuje zvýšení rychlosti proudění.<sup>79</sup>

Důležitá je také vazba mezi teplotou vzduchu uvnitř provětrávané mezery a vnější teplotou. Při běžném předpokládaném rozvrstvení teplot v provětrávané mezeře se předpokládá při jednoduchém rozdělení na teplotu ve spodní, střední a horní části vzduchové mezery. Teplota ve

---

<sup>78</sup> Seferis, P. & Strachan, Paul & Dimoudi, A. & Androutopoulos, A.. (2011). Investigation of the performance of a ventilated wall. Energy and Buildings. 43. 2167-2178. 10.1016/j.enbuild.2011.04.023. s.9

<sup>79</sup> Tamtéž s.16

spodní části je nejnižší, vzduch dole vstupující do provětrávané mezery absorbuje teplo a pohybuje se směrem nahoru. V letních měsících, kdy je teplota okolí běžně vyšší (v závislosti na poloze fasády a jejího ukončení ve spodní části), nemusí být vždy teplota ve spodní části provětrávané mezery nejnižší. V noci je v prostředí provětrávané mezery předpokládá teplota nižší, než je vnější teplota před fasádou. Lze také předpokládat, že největší rozdíly oproti modelové simulaci bude vykazovat noční období v létě, kdy lze předpokládat vliv sálání vnějšího obkladu fasády směrem do provětrávané mezery.

Dalšími podstatnými vlivy na proudění uvnitř provětrávané mezery pak je tlak vzduchu u vstupních otvorů do provětrávané mezery ve spodní části fasády a rychlost větru ve vnějším prostředí před fasádou.

#### **C.2.4/ Difúze a kondenzace vodní páry ve stavební konstrukci**

Vodní páry obsažené ve vzduchu mají podobnou schopnost procházet stavebními konstrukcemi stejně jako tepelný tok. K toku tepla je potřebný gradient teploty, k toku vodních par je nevyhnutelný gradient částečných tlaků vodních par. Difundující vodní páry se pohybují z míst s vyšším tlakem do míst, kde je tlak vodních par menší. Za jistých tlakových a teplotních podmínek může uvnitř materiálu dojít ke kondenzaci vodních par, v konstrukcích vícevrstevných je výskyt kondenzace nebezpečnější. Důsledkem může být znehodnocení materiálů doprovázené buď hygienickými nedostatky (např. tvorbou plísní) nebo změnou jejich vlastností (např. snížením tepelně izolačních vlastností).<sup>80</sup>

Dispoziční tlak pro difúzní tok vodní páry  $p_{cd}$  je dán rozdílem částečných tlaků vodní páry od vnitřního vzduchového prostředí  $p_{di}$  a od vnějšího vzduchového prostředí  $p_{de}$ . Hodnota částečných tlaků vodní páry na vnitřním povrchu stěny  $p_{dip}$  a vnějším povrchu stěny  $p_{dep}$  snižuje rozdíl  $p_{cd}$  o přestupy vlhkosti u obou přestupových ploch:<sup>81</sup>

$$p_{cd} < (p_{dip} - p_{dep}) \quad (19)$$

---

<sup>80</sup> VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM. ISBN 80-214-1649-1. s.213

<sup>81</sup> JELÍNEK, Vladimír. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 13. 9. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>



Pro hodnocení vlhkostního stavu ve stavebních konstrukcích se pracuje s difúzními konstantami, v ČR se používají dva parametry:<sup>82</sup>

- **Součinitel difúze vodní páry**  $\delta$  vyjadřuje schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí
- **Faktor difúzního odporu**  $\mu$  vyjadřuje relativní schopnost materiálu propouštět vodní páru difúzí. Vyjadřuje poměr difúzního odporu materiálu a difúzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce při definovaných podmínkách.

Jejich vztah lze popsat takto:<sup>83</sup>

$$\mu = 1 / N \cdot \delta \quad (20)$$

kde

N... teplotní difúzní funkce ( $s^{-1}$ ), jejíž hodnota se určí dle vztahu:

$$N = (5,25 \cdot 106 \cdot p_a) / T^{0,81} \quad (21)$$

kde

$p_a$ ... atmosférický tlak (Pa)

$$p_a = [101325 \cdot (16300 - h)] / (16300 + h) \quad (22)$$

kde

h... nadmořská výška v m.n.m., 101325... normální atmosférický tlak na mořské hladině

T... absolutní teplota j-té vrstvy konstrukce (K),

$$T = 273,15 + (t_1 + t_2)/2 \quad (23)$$

kde

$t_1$  a  $t_2$ ... teploty na hranicích vrstvy materiálu ve stavební konstrukci ( $^{\circ}C$ ).

Dále se také používá parametr ekvivalentní difúzní tloušťka  $r_d$  ( $s_d$ ), vyjádřená vztahem:

$$r_d = s_d = \mu \cdot d_{mat} \quad (24)$$

kde

---

<sup>82</sup> VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM. ISBN 80-214-1649-1. s.213

<sup>83</sup> Tamtéž. s.213-214

$d_{\text{mat}}$ ... tloušťka materiálu (m).

Vlhkostní tok stěnovou konstrukcí mezi rozdílným vzduchovým prostředím je způsoben dispozičním tlakem vodní páry ve vzduchu obsažené. Metoda výpočtu průchodu difúzní vlhkosti z prostředí s vyšším částečným tlakem vodní páry do prostředí s nižším částečným tlakem vodní páry stěnou oddělující obě prostředí, je podobná s tokem tepla při nahrazení:

- tepelného toku tokem vlhkostním
- teplotního průběhu stěnou průběhem částečného tlaku vodní páry
- tepelného odporu stěny difúzním odporem stěny
- přestupu tepla na obou přestupových plochách přestupem vlhkosti.

### C.2.5/ Prostup vlhkosti stěnou

Vyjádření prostupu vlhkosti stěnou při jednotkové prostupové ploše  $S = 1 \text{ m}^2$  vychází z podobnosti pro prostup tepla stěnou:<sup>84</sup>

$$G = 1 \cdot U_d (p_{\text{di}} - p_{\text{de}}) \text{ (g/m}^2\text{h)} \quad (25)$$

kde

$U_d$ ... součinitel prostupu vodní páry stěnou (g/m<sup>2</sup>hPa)

$p_{\text{di}}$ ... částečný tlak vodní páry u vlhčího prostředí (Pa)

$p_{\text{de}}$ ... částečný tlak vodní páry u suššího prostředí (Pa)

$$U_d = 1 / R_d \text{ (g/m}^2\text{hPa)} \quad (26)$$

kde

$R_d$ ... odpor při přestupu vodní páry je podobně jako u tepelného odporu dán vztahem:

$$R_d = R_{\text{di}} + R_{\text{d}\delta} + R_{\text{de}} \quad (27)$$

kde

$R_{\text{di}}$ ... odpor při přestupu vodní páry ze vzduchu do konstrukce

---

<sup>84</sup> JELÍNEK, Vladimír. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 13. 9. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>

$$R_{di} = 1 / h_i \text{ (m}^2\text{hPa/g)} \quad (28)$$

$R_{de}$ ... odpor při přestupu vodní páry z povrchu konstrukce stěny

$$R_{de} = 1 / h_e \text{ (m}^2\text{hPa/g)} \quad (29)$$

$R_{d\delta}$ ... difúzní odpor konstrukce stěny

$$R_{d\delta} = d / \delta \text{ (m}^2\text{hPa/g)} \quad (30)$$

$h_i$ ... součinitel přestupu vodní páry na povrch stěny v prostředí s vyšším částečným tlakem (g/m<sup>2</sup>h)

$h_e$ ... součinitel přestupu vodní páry z povrchu stěny do prostředí s nižším částečným tlakem (g/m<sup>2</sup>h)

$d$ ... tloušťka vrstvy stěny (m)

$\delta$ ... součinitel difúze vodní páry materiálu konstrukce (g/mhPa)

Přestup vlhkosti je tedy řešen stejně jako přestup tepla. Přestup vlhkosti závisí na součiniteli přestupu vlhkosti ( $h$ ) ze vzduchu na povrch stěny anebo naopak, podle intenzity proudění vzduchu podél stěny. Součinitel přestupu vlhkosti se stanovuje složitěji a méně přesně než součinitel přestupu tepla.

### C.2.6/ Difúzní odpor vícevrstvé stěny

Difúzní odpor u vícevrstvé stěny  $R_{d\delta}$  je podobně jako u tepelného odporu složen z difúzních odporů jejích jednotlivých vrstev.<sup>85</sup>

$$R_{d\delta} = d_1/\delta_1 + d_2/\delta_2 + \dots + d_n/\delta_n \text{ (Pam}^2\text{h/g)} \quad (31)$$

kde

$d_i$ ... tloušťka vrstvy stěny (m)

$\delta_i$ ... součinitel difúze vodní páry materiálu vrstvy stěny (g/mhPa)

---

<sup>85</sup> JELÍNEK, Vladimír. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 13. 9. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>

Difúzní tok při vedení vlhkosti stěnou (po zanedbání přestupu vlhkosti) se pak zjednoduší i v symbolice a vyjádří se takto:<sup>86</sup>

$$G = (p_{di} - p_{de}) / R_d \text{ (g/m}^2\text{h)} \quad (32)$$

kde

$R_d$ ... difúzní odpor jednovrstvé stěnové konstrukce (Pam<sup>2</sup>h/g)

$p_{di}$ ... částečný tlak vodní páry prostředí s vyšší vlhkostí (shodný s povrchem stěny) (Pa)

$p_{de}$ ... částečný tlak vodní páry prostředí s nižší vlhkostí (shodný s povrchem stěny) (Pa)

Vlhkostní tok konstrukce vícevrstvé stěny se pak vyjádří vztahem:<sup>87</sup>

$$G = (p_{di} - p_{de}) / \Sigma R_{di} \text{ (g/m}^2\text{h)} \quad (33)$$

kde

$R_{di}$ ... difúzní odpor i-té vrstvy stěnové konstrukce (Pam<sup>2</sup>h/g).

Podle tohoto vztahu je velikost vlhkostního toku  $G$  závislá na rozdílu částečných tlaků obou prostředí a nepřímo úměrná celkovému difúznímu odporu stěny, přičemž u vrstev s vyšším difúzním odporem je průběh částečného tlaku dán strmější přímkou než u přímkou, která přísluší vrstvě s nižším difúzním odporem.

## C.2.7/ Slunce

### C.2.7.1/ Intenzita slunečního záření

Intenzita slunečního záření dopadající na plochu pod vrstvou atmosféry se skládá z přímého záření  $I_P$  (W/m<sup>2</sup>) a difúzního rozptýleného slunečního záření  $I_D$  (W/m<sup>2</sup>) dopadajícího na vodorovnou plochu z prostorového úhlu  $2\pi$ . Globální sluneční záření je významnou charakteristikou přenosu sluneční energie do atmosféry a na zemský povrch a jeho intenzita roste s výškou Slunce nad obzorem a s poklesem zakalení atmosféry.<sup>88</sup>

---

<sup>86</sup> JELÍNEK, Vladimír. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 13. 9. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>

<sup>87</sup> Tamtéž

<sup>88</sup> Česká meteorologická společnost [online]: Elektronický meteorologický slovník (eMS) [cit 31.01.2022]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

$$I = I_P + I_D \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (34)$$

kde

$I$ ... intenzita slunečního záření blízko povrchu Země (W/m<sup>2</sup>)

$I_P$ ... intenzita přímého slunečního záření (W/m<sup>2</sup>) – sluneční záření, které není při průchodu atmosférou odraženo ani pohlceno a znovu vyzářeno

$I_D$ ... intenzita difúzního slunečního záření (W/m<sup>2</sup>) – sluneční záření, které se odrazilo od částic obsažených v atmosféře a změnilo směr. Množství závisí na oblačnosti a znečištění atmosféry – tyto jevy zmenšují množství přímého záření, tedy při zatažené obloze dopadá na povrch Země pouze difúzní záření, resp. jasná převaha difúzního záření značí, že v danou dobu bylo zataženo.

### **C.2.7.2/ Geometrické parametry pohybu Slunce dle ČSN EN ISO 52010-1 Energetická náročnost budov – Vnější klimatické podmínky – Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty (březen 2018)**

Jedná se o harmonizovanou normu EN ISO 52010-1 Energy performance of buildings – External climatic conditions – Part 1: Conversion of climatic data for energy calculations (ISO 52010-1:2017) ve znění červen 2017. Norma představuje harmonizovanou metodologii vyhodnocení klimatických dat pro energetické výpočty. Pro účel předkládané práce tento normový předpis poskytuje standardní výpočtové metody pro přepočet hodinových klimatických dat jako vstupních hodnot pro standardní energetické výpočty, výpočty denního osvětlení, pro hodnocení konstrukčních částí staveb a komponentů technologií speciálních profesí.<sup>89</sup> V mém případě se výpočtové postupy tohoto normového předpisu uplatnily pro přepočet hodinových dat oslunění obecné plochy obecně orientované vůči světovým stranám a obecně nakloněné od horizontální roviny (ref.: svislá fasáda ve sklonu 90°, orientace V, Z, J) z hodinových hodnot přímého a difúzního slunečního záření na 1 m<sup>2</sup> horizontální plochy z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782.

Výpočtový model je složen ze tří komponent:

- geometrický popis nebeské bane
- parametrický popis podmínek oslunění

---

<sup>89</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.13

- statistická data spojující předchozí dvě komponenty dohromady.<sup>90</sup>

Jedná se tak o model anizotropní oblohy, kde je nebeská báň rozdělena do tří částí, přičemž každá z těchto tří částí podává samostatné výsledky sluneční radiace, rozdílné od zbývajících dvou částí. Tyto tři části jsou:

- izotropní rozptyl slunečního záření, nezávislý na směru
- radiace slunce pohybujícího se po obloze
- jas horizontu.<sup>91</sup>

Čtvrtou komponentou je pak existence, orientace, výška a sklon případného stínícího objektu nebo jeho části. Pro účel analýzy výpočtového modelu byly tyto vlivy, jistě důležité pro analýzu vlivu oslunění fasády konkrétní budovy v reálném prostředí, zanedbány. Výpočtový model a jeho analýza vychází z předpokladu absence stínění fasády okolní výstavbou, vzrostlou zelení či tvarováním terénu, všechny posuzované fasády ve všech analyzovaných časových obdobích jsou osluněny přímým a difúzním slunečním zářením přepočteným z osluněné horizontální plochy na plochu svislou bez vlivu dalšího stínění.<sup>92</sup>

#### **C.2.7.2.1/ Vstupní data přepočtu**

V souladu s čl.6.3.1/ ČSN EN ISO 52010-1 je jako vstupní data použita databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782. Jedná se o data aproximovaná z měření meteorologickou stanicí. V souladu s čl.6.3.3/ ČSN EN ISO 52010-1, Tab.5/ jsou součástí databáze referenčního klimatického roku hodinová data průměrné intenzity globálního slunečního záření ( $W/m^2$ ), složená z průměrné intenzity difúzního záření ( $W/m^2$ ) a přímé sluneční radiace na horizontální ploše ( $W/m^2$ ).

Výpočtový model představuje svislou plochu fasády (sklon od horizontální roviny  $90^\circ$ ) výšky 3 m od horizontální osluněné plochy, orientované na jih, východ a západ (s odpovídajícími azimuty).

#### **C.2.7.2.2/ Postup přepočtu**

Postup přepočtu probíhá v několika krocích, pozice Slunce je vždy dána výškovým úhlem a azimutem odpovídajícími dráze Slunce.

<sup>90</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.16

<sup>91</sup> Tamtéž s.16

<sup>92</sup> Tamtéž. s.16-17

## a/ Výpočet dráhy Slunce

### a.1/ Deklinace Slunce $\delta$ (°):

$$\delta = 0,33281 - 22,984 \times \cos(R_{dc}) - 0,3499 \times \cos(2R_{dc}) - 0,1398 \times \cos(3R_{dc}) + 3,7872 \times \sin(R_{dc}) + 0,03205 \times \sin(2R_{dc}) + 0,07187 \times \sin(3R_{dc})^{93} \quad (35)$$

kde

$$R_{dc} = (360/365) \times n_{day} \quad (36)$$

kde

$\delta$ ... deklinace Slunce (°)

$R_{dc}$ ... úhel oběžné dráhy Země v čase (°)

$n_{day}$ ... den v roce (1 až 365, resp. 366 v přestupném roce)

### a.2/ Časová funkce $t_{eq}$ (min):<sup>94</sup>

$$\text{Pro } n_{day} < 21: t_{eq} = 2,6 + 0,44 \times n_{day} \quad (37)$$

$$\text{Pro } 21 \leq n_{day} < 136: t_{eq} = 5,2 + 9 \times \cos((n_{day} - 43) \times 0,0357 \times 180/\pi) \quad (38)$$

$$\text{Pro } 136 \leq n_{day} < 241: t_{eq} = 1,4 - 5 \times \cos((n_{day} - 135) \times 0,0449 \times 180/\pi) \quad (39)$$

$$\text{Pro } 241 \leq n_{day} < 336: t_{eq} = -6,3 - 10 \times \cos((n_{day} - 306) \times 0,036 \times 180/\pi) \quad (40)$$

$$\text{Pro } n_{day} \geq 336: t_{eq} = 0,45 \times (n_{day} - 359) \quad (41)$$

kde

$t_{eq}$ ... funkce času (min)

$n_{day}$ ... den v roce (1 až 365, resp. 366 v přestupném roce)

### a.3/ Časový posun $t_{shift}$ (hod):<sup>95</sup>

Přepočet časového posunu, vyplývajícího ze skutečnosti, že zeměpisná délka polohy konkrétního místa a dráha Slunce si nejsou rovny, je následující:

---

<sup>93</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.24

<sup>94</sup> Tamtéž s.24

<sup>95</sup> Tamtéž s.24-25

$$t_{\text{shift}} = TZ - (\lambda_w / 15) \quad (42)$$

kde

$t_{\text{shift}}$  ... časový posun (hod)

TZ... časové pásmo, aktuální čas pro danou lokalitu ve srovnání s UTC (Universal Time Coordinated... koordinovaný světový čas, nezávislý na rotaci Země). Čas založený na atomových hodinách, nikoliv na časovém pásmu základního poledníku jako GMT (Greenwich Mean Time) - jednotlivá časová pásma jsou definována svými odchylkami od UTC. Z hlediska relativity času se jedná o čas souřadnicový. Např. místní čas v ČR je dán jako UTC+1,00 v zimním období a jako UTC+2,00 v období letního času. Je-li tedy dán např. čas „9.00 UTC“, pak je to pro ČR 10.00hod v zimě a 11.00 v letním čase.

#### **a.4/ Sluneční čas $t_{\text{sol}}$ (hod):<sup>96</sup>**

Tzv. sluneční čas je dán vztahem času, časového posunu a dané hodiny dne:

$$t_{\text{sol}} = n_{\text{hour}} - (t_{\text{eq}}/60) - t_{\text{shift}} \quad (\text{hod}) \quad (43)$$

kde

$t_{\text{sol}}$ ... sluneční čas (hod)

$n_{\text{hour}}$ ... aktuální denní čas pro danou lokalitu (hod)

$t_{\text{eq}}$ ... časová funkce dle odst. a.2/ výše (min)

$t_{\text{shift}}$ ... časový posun dle odst. a.3/ výše (hod)

#### **a.5/ Sluneční úhel<sup>97</sup>**

Vyjádření slunečního času v úhlových mírách – konkrétní sluneční čas vs. tzv. sluneční poledne (sluneční poledne = hodinový úhel 0 stupňů, čas před slunečním polednem je vyjádřen ve stupních záporných, čas po slunečním poledni ve stupních kladných).

$$\omega = 180/12 \cdot (12,5 - t_{\text{sol}}) \quad (^\circ) \quad (44)$$

pokud

<sup>96</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočítání klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.25

<sup>97</sup> Tamtéž s.25



$\omega > +180^\circ$ , potom  $\omega = \omega - 360$

$\omega < -180^\circ$ , potom  $\omega = \omega + 360$

kde

$\omega$ ... sluneční časový úhel ( $^\circ$ )

$t_{\text{sol}}$ ... sluneční čas dle a.4/ výše (hod)

### **a.6/ Sluneční výškový úhel a sluneční zenitový úhel<sup>98</sup>**

Sluneční výškový úhel  $\alpha_{\text{sol}}$  je úhel, který svírá sluneční paprsek s horizontální rovinou a závisí na slunečním časovém úhlu  $\omega$ , deklinaci slunce  $\delta$  a zeměpisné délce:

$$\alpha_{\text{sol}} = \arcsin(\sin\delta \cdot \sin\varphi_v + \cos\delta \cdot \cos\varphi_v \cdot \cos\omega) \quad (45)$$

pokud

$\alpha_{\text{sol}} < 0,0001$ , potom  $\alpha_{\text{sol}} = 0$

Solární zenitový úhel  $\theta_z$  je pak dopočítán jako doplňkový úhel:

$$\theta_z = 90 - \alpha_{\text{sol}} \quad (46)$$

kde

$\alpha_{\text{sol}}$ ... sluneční výškový úhel, úhel, který svírá sluneční paprsek s horizontální rovinou ( $^\circ$ )

$\theta_z$ ... sluneční zenitový úhel, který svírá sluneční paprsek se zenitovou přímkou ( $^\circ$ )

$\delta$ ... deklinace Slunce dle vztahu (35) ( $^\circ$ )

$\omega$ ... sluneční časový úhel dle vztahu (44) ( $^\circ$ )

$\varphi_v$ ... zeměpisná délka meteorologické stanice, ze které jsou převzata klimatická data ( $^\circ$ )

### **a.7/ Azimut Slunce**

Azimut Slunce  $\varphi_{\text{sol}}$  lze spočítat dle vztahů:<sup>99</sup>

$$\sin\varphi_{\text{sol};\text{aux1}} = (\cos\delta \cdot \sin(180 - \omega)) / \cos(\arcsin(\sin\alpha_{\text{sol}})) \quad (47)$$

<sup>98</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočítání klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.26

<sup>99</sup> Tamtéž s.26-27

$$\cos\varphi_{\text{sol};\text{aux1}} = ((\cos\varphi_v \cdot \sin\delta) + \sin\varphi_v \cdot \cos\delta \cdot \cos(180-\omega)) / \cos(\arcsin(\sin\alpha_{\text{sol}})) \quad (48)$$

$$\varphi_{\text{sol};\text{aux2}} = (\arcsin(\cos\delta \cdot \sin(180-\omega)) / \cos(\arcsin(\sin\alpha_{\text{sol}}))) \quad (49)$$

kde

$\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}$ ... první pomocný úhel pro stanovení azimutu Slunce (°)

$\varphi_{\text{sol};\text{aux2}}$ ... druhý pomocný úhel pro stanovení azimutu Slunce (°)

$\delta$ ... deklinace Slunce dle vztahu (35) (°)

$\omega$ ... sluneční časový úhel dle vztahu (44) (°)

$\alpha_{\text{sol}}$ ... sluneční výškový úhel, úhel, který svírá sluneční paprsek s horizontální rovinou (°)

$\varphi_v$ ... zeměpisná délka meteorologické stanice, ze které jsou převzata klimatická data (°)

Azimut Slunce je počítán dle následujícího vztahu, pokud:

$$\sin\varphi_{\text{sol};\text{aux1}} \geq 0 \text{ a } \cos\varphi_{\text{sol};\text{aux1}} > 0 \dots \varphi_{\text{sol}} = +(180 - \varphi_{\text{sol};\text{aux2}}) \quad (50)$$

$$\cos\varphi_{\text{sol};\text{aux1}} < 0 \dots \varphi_{\text{sol}} = \varphi_{\text{sol};\text{aux2}} \quad (51)$$

$$\text{jinak } \varphi_{\text{sol}} = -(180 + \varphi_{\text{sol};\text{aux2}}) \quad (52)$$

kde

$\varphi_{\text{sol}}$ ... azimut Slunce (úhel od Jihu, směrem na Východ kladný, směrem na Západ záporný) (°)

$\sin\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}$ ... první pomocná proměnná dle vztahu (47)

$\cos\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}$ ... druhá pomocná proměnná dle vztahu (48)

$\varphi_{\text{sol};\text{aux2}}$ ... druhý pomocný úhel pro stanovení azimutu Slunce dle vztahu (49) (°)

Azimut Slunce v rozsahu od  $-180^\circ$  do  $+180^\circ$  je důležitý pro definování objektu stínění ve směru slunečních paprsků.

## **a.8/ Air mass (AM)**

Koeficient  $m$ , pomocí kterého lze přepočítat sluneční radiaci poté, co prošla vrstvou atmosféry Země. Tento koeficient je funkcí  $\sin$  slunečního výškového úhlu  $\alpha_{\text{sol}}$ :<sup>100</sup>

<sup>100</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.28

$$\text{pokud } \alpha_{\text{sol}} \geq 10, \text{ potom } m = 1 / \sin \alpha_{\text{sol}} \text{ (-)} \quad (53)$$

$$\text{pokud } \alpha_{\text{sol}} < 10, \text{ potom } m = 1 / \sin \alpha_{\text{sol}} + 0,15(\alpha_{\text{sol}} + 3,885)^{-1,253} \text{ (-)} \quad (54)$$

kde

m... koeficient zohledňující AM (-)

$\alpha_{\text{sol}}$ ... sluneční výškový úhel, úhel, který svírá sluneční paprsek s horizontální rovinou (°)

### **a.9/ Vztah mezi přímým a difúzním zářením**

Zde záleží na tom, jaká data o slunečním záření byla vydána z konkrétní meteorologické stanice, zda se jedná pouze o data globálního slunečního záření  $G_{\text{sol,g}}$  na horizontální ploše ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), nebo zda jsou k dispozici i data o podílu přímého slunečního záření  $G_{\text{sol,b}}$  na horizontální ploše ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) a difúzního záření  $G_{\text{sol,d}}$  na horizontální ploše ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Nejsou-li data o difúzním záření známa, pak je lze dopočítat ze vztahu:<sup>101</sup>

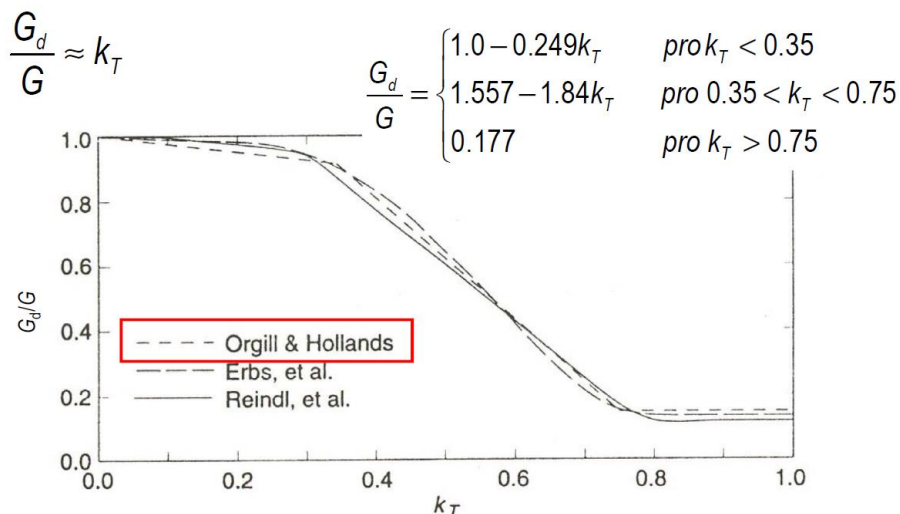
$$G_{\text{sol,d}} = G_{\text{sol,g}} - (G_{\text{sol,b}} \cdot \sin \alpha_{\text{sol}}) \quad (\text{W}/\text{m}^2) \quad (55)$$

Jsou-li známa data slunečního záření na horizontální ploše, jsou dále přepočítávána na průměrné hodnoty pomocí koeficientu čistoty atmosféry  $k_T$  (-), přičemž přibližný vztah mezi difúzním zářením  $G_{\text{sol,d}}$  a globálním slunečním zářením  $G_{\text{sol,g}}$  na vodorovnou plochu a koeficientem čistoty atmosféry  $k_T$  je následující (Obr. 29):<sup>102</sup>

---

<sup>101</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.28-29

<sup>102</sup> MATUŠKA 2019. [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2\\_P1-slunecni\\_energie.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2_P1-slunecni_energie.pdf) s. 27



Obr. 29 - Vztah mezi difúzním a globálním slunečním zářením na vodorovnou plochu a koeficientem čistoty atmosféry. Zdroj: MATUŠKA 2019. [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2\\_P1-slunecni\\_energie.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2_P1-slunecni_energie.pdf) s. 27

Koeficient čistoty atmosféry, vyjadřující poměr sumy naměřeného celkového slunečního záření na vodorovné ploše na povrchu Země a vesmírného slunečního záření (bez jeho průchodu atmosférou Země), se určí ze vztahu:<sup>103</sup>

$$k_T = G_{\text{sol};g} / I_{\text{ext}} \quad (-), \quad (56)$$

kde

$G_{\text{sol};g}$ ... naměřená hodnota celkového slunečního záření na vodorovné rovině na povrchu Země ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$I_{\text{ext}}$ ... vesmírné sluneční záření bez jeho průchodu atmosférou Země, teoretická hodnota celkového slunečního záření na stejné ploše, ale mimo atmosféru Země, která se stanoví:

$$I_{\text{ext}} = G_{\text{sol};c} \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(360/365 \cdot n_{\text{day}})) \quad (\text{W}/\text{m}^2), \quad (57)$$

kde

$n_{\text{day}}$ ... den v roce

$G_{\text{sol};c}$ ... úhel slunečních paprsků dopadajících na skloněný povrch, definovaný jako funkce slunečního časového úhlu  $\omega$  ( $^\circ$ ) a deklinace Slunce  $\delta$  ( $^\circ$ ) dle vztahů uvedených výše.

<sup>103</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočítání klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.30

## a.10/ Další parametry

### a.10.1/ Albedo

Albedo  $\rho_{\text{sol;grnd}}$  je míra reflexe zemského povrchu. Je závislá na konkrétní poloze místa a místních podmínkách, klimatických podmínkách, v zimním období také pokrytí povrchu sněhovou pokrývkou apod. Obecně jde o míru odrazivosti povrchu tělesa určenou poměrem odraženého slunečního záření ku množství dopadajícího slunečního záření (%). Např.: albedo čerstvého napadaného sněhu je až 90 %, albedo vodní plochy je pod 10 %, průměrné albedo Země je cca 30 % a je složeno z cca 26 % odrazu slunečního záření v atmosféře a cca 4 % odrazu od zemského povrchu. Nejmenší hodnoty dosahuje albedo Země v červenci, a to cca 28 %.<sup>104</sup>

### a.10.2/ Rozdělení difúzního slunečního záření

Difúzní záření  $G_{\text{sol,d}}$  na horizontální ploše ( $\text{W/m}^2$ ) je třeba chápat jako záření složené z více složek:<sup>105</sup>

- **izotropní složka  $I_{\text{tot}}$** : rovnoměrný jas difúzního záření z celé oblohy
- **cirkumsolární složka  $I_{\text{circum}}$** : rozptyl záření okolo slunečních paprsků procházejících atmosférou, tedy s určitou směrovou závislostí
- **zjasnění horizontu**: za jasné oblohy je pás nad horizontem jasnější, než zbytek oblohy

## C.2.7.3/ Geometrické parametry pohybu Slunce dle Fotovoltaika 2017 – K-CAD s.r.o.

Kapitola C.2.7.2/ výše uvádí základní normové postupy přepočtu klimatických dat – v mém případě přepočtu hodnot slunečního záření ( $\text{W/m}^2$ ) na horizontální plochu, získaných z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782. Pro urychlení jejich přepočtu na oslunění svislé plochy fasády orientované na východ – jih – západ v jednotlivých hodinách každého kalendářního dne roku byla použita analogie výpočtového modelu fasády s obecně skloněnou plochou fotovoltaického panelu obecně orientovaného vůči světovým stranám, tedy přepočty slunečního záření, používané při energetickém hodnocení fotovoltaických panelů v rámci softwaru Fotovoltaika 2017 K-CAD s.r.o., které umožňují výpočet

<sup>104</sup> *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Albedo* [online]. c2021 [citováno 31. 01. 2022]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Albedo&oldid=20512616>>

<sup>105</sup> ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočet klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. s.34

produkce elektrické energie libovolným počtem obecně orientovaných různých fotovoltaických panelů a stanovuje využitelnost jimi vyrobené elektřiny.

Pro účely předkládané práce je využita analogie výpočtového modelu fasády s fotovoltaickým panelem stejných rozměrů, skloněným v úhlu 90° (svislý panel) a orientovaným ve směru východ – jih – západ. Hodnoty globálního, přímého a difúzního slunečního záření z databáze referenčního klimatického roku na vodorovnou plochu jsou tedy pomocnými výpočty softwaru Fotovoltaika 2017 K-CAD s.r.o. přepočítány na svislou plochu fotovoltaického panelu orientovaného na východ, jih a západ.

Pro přepočet je využit nestíněný modelový fotovoltaický panel se sklonem 90° od vodorovné roviny, uložený v otevřené poloze dané lokality. Další energetické výpočty modelového fotovoltaického panelu, vyjma přepočtu hodnot globálního, přímého a difúzního záření, nebyly prováděny. Tímto způsobem byla získána databáze oslunění výpočtového modelu fasády. Takto získané hodnoty globálního slunečního záření ( $W/m^2$ ) na svislou plochu fasády orientované ve směru východ – jih – západ byly dosazovány ve výpočtovém programu Mezera 2017 K-CAD s.r.o. jako konkrétní hodnoty tepelného toku mezi povrchem fasády a oblohou v denní době, tedy v době oslunění dané fasády slunečním zářením.

### **C.3/ KLIMATICKÁ DATA A VÝBĚR VHODNÉHO ČASOVÉHO OBDOBÍ PRO PROVEDENÍ ANALÝZY**

#### **C.3.1/ Klimatické podmínky uplatňované ve stavební tepelné technice**

Z tepelně-technického hlediska je pro navrhování a posuzování stavebních konstrukcí významná teplota a vlhkost venkovního vzduchu, směr a rychlost větru a parametry slunečního záření, přičemž se pracuje s hodnotami průměrnými a hodnotami extrémními.<sup>106</sup>

**Extrémní parametry** jsou rozhodující pro stanovení funkční spolehlivosti konstrukcí celého objektu a v rámci technicko-fyzikální analýzy staveb.

**Průměrné hodnoty** jsou směrodatné pro stanovení spotřeby energie na vytápění.

---

<sup>106</sup> VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1649-1. s.32

**Povětrnostní poměry**, nebo také počasí, je stav ovzduší charakterizovaný souborem povětrnostních prvků, kterými jsou teplota a vlhkost vzduchu, tlak, směr a rychlost větru, sluneční svit a záření, oblačnost a vodní srážky. Vše je vztaženo k určitému, datem určenému období.

**Klimatické poměry** jsou pak průměrným stavem ovzduší charakteristickým pro dané místo, podnebím. Podnebí určitého místa je definováno klimatickými prvky – dlouhodobými průměrnými hodnotami stejných veličin jako u počasí.<sup>107</sup>

### **C.3.2/ Referenční klimatický rok pro danou lokalitu**

Meteorologická data z konkrétních lokalit je pro účely formulace okrajových podmínek nutno zpracovat do podoby poskytující podklady pro získání poznatků o stavu vnějšího prostředí, protože pro účely analýzy klimatu a matematického modelování podmínek, ve kterých se stavební objekt nachází, již nevystačí klasické informace o dlouhodobých průměrech – viz. výše kapitola D.3.1/. Je tedy potřeba klimatická data v širších souvislostech zpracovat tak, aby vyhovovala definici přesnějších okrajových podmínek, přičemž se předpokládá potřeba zjišťování časové změny a průběhů více klimatických a meteorologických prvků mezi sebou.<sup>108</sup>

Současně jsou sledovány vzájemné vztahy mezi jednotlivými klimatickými a meteorologickými prvky a vychází se z analýzy časově krátkodobých úseků, založených např. na údajích z jednotlivých hodin. Pro splnění těchto cílů byl zaveden pojem **referenční klimatický rok** jako součást národní přílohy ČSN EN ISO 15927-4, vlastník MPO ČR, jehož cílem je poskytnout uživatelům komplexní meteorologické údaje a řadu meteorologických parametrů, které popisují typický průběh počasí v dané lokalitě, a vybrat klimatické parametry z dostatečně dlouhých řad pozorování podle příslušné metodiky. Referenční klimatický rok tedy reprezentuje hodinová data pro statisticky průměrný rok v souladu s požadavky EN ISO 15927-4.<sup>109</sup>

Pro potřeby předkládané práce byla u Odboru klimatologie ČHMÚ provedena objednávka a následné zakoupení dat referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782. Důvodem výběru této lokality je, že se zpracovatel předkládané práce podílel a nadále podílí na přípravě výstavby velkého administrativního objektu v lokalitě Praha – Roztyly,

---

<sup>107</sup> VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1649-1. s.31

<sup>108</sup> Tamtéž s.49

<sup>109</sup> ČSN EN ISO 15927-4. *Tepelně vlhkostní chování budov - Výpočet a uvádění klimatických hodnot: Část 4: Hodinová data pro posuzování roční energetické potřeby pro vytápění a chlazení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2011. s.5-8

ul. Tomíčkova a je tak reálné předpokládat, že v rámci případného navazujícího výzkumu bude teoreticky možné v blízké budoucnosti provést na konkrétní stavební konstrukci obvodového pláště s provětrávanou mezerou ověřovací měření in-situ, které by zpřesnilo výsledky výpočtové studie předkládané v rámci této práce.

**Data, zaslaná z Odboru klimatologie ČHMÚ pro referenční klimatický rok dané lokality poskytují pro jednotlivé dny roku v hodinovém běhu následující parametry:**

- **den, měsíc a hodinu** příslušného časového období
- **Tep:** teplotu vzduchu (°C)
- **RV:** relativní vlhkost vzduchu (%)
- **Nap:** tlak vodní páry (hPa)
- **Td:** teplota rosného bodu (°C)
- **Avl:** absolutní vlhkost vzduchu (g/m<sup>3</sup>)
- **Glb:** průměrnou intenzitu globálního záření v dané hodině (W/m<sup>2</sup>), vztahovanou ke konci měřeného intervalu
- **Dif:** průměrnou intenzitu difúzního záření v dané hodině (W/m<sup>2</sup>), vztahovanou ke konci měřeného intervalu
- **Insol:** insolaci = intenzitu přímého slunečního záření vztaženou na horizontální plochu (W/m<sup>2</sup>)
- **Rychvet:** rychlost větru (m/s)
- **Smervetru:** směr větru ve stupních azimutu
- **Tlakvzduchu:** tlak vzduchu pro danou nadmořskou výšku lokality (hPa)

Tato data byla pro jednotlivé výpočtové stavy selektivně vkládána do výpočtů.



## D/ VÝSLEDKY PRÁCE A NOVÉ POZNATKY

### D.1/ ZHODNOCENÍ TYPOVÝCH VÝPOČETNÍCH STAVŮ

Přehled výpočtových stavů je uveden výše (Tab.7 Přehled výpočtových stavů. Výběr z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782). Jejich zhodnocení níže je provedeno podle jednotlivých položek a kategorizace charakteristiky dne.

#### D.1.1/ Teplý zatažený den (se zvýšenou vlhkostí) – 20. listopadu – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po většinu dne neklesne teplota pod 0 °C, sluneční záření reprezentuje pouze položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svíslé plochy fasády a zvýšená vlhkost v průběhu dne neklesne po většinu dne pod hodnotu 90%. Zjednodušeně se jedná o zatažený šedivý zamlžený den konce podzimu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 8:

TEPLÝ ZATAŽENÝ DEN SE ZVÝŠENOU VLHKOSTÍ - 20. LISTOPAD - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtené na svíslá IIIH	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x oblota	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. lince obkladu	Max. teplota vnitř. lince obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním lici obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°C	°C	°C	m/s	°C	°C	%	%	ano/ne	ano/ne
20	11	0	0,2	93,5	0	2,90	150	-28,2	0,35	0,3	0,38	0,1608	-0,61	-0,58	93,7	94,2	ano	ne
20	11	1	0,9	92,3	0	1,90	160	-28,2	1	0,9	1,04	0,1049	0,06	0,1	92,2	93	ne	ne
20	11	2	1	92,4	0	1,90	170	-28,2	1,1	1	1,14	0,1049	0,16	0,2	92,3	93,1	ne	ne
20	11	3	0,2	95,2	0	1,90	40	-28,2	0,33	0,2	0,39	0,103	-0,64	-0,58	94,9	95,6	ano	ne
20	11	4	-0,1	95,1	0	0,00	0	-28,2	0,11	-0,1	0,12	0,0126	-0,94	-0,87	95,1	100	ano	ano
20	11	5	-0,5	96,6	0	0,90	280	-28,2	-0,29	-0,5	-0,26	0,0448	-1,34	-1,27	96,1	98,6	ano	ne
20	11	6	-0,8	96,6	0	1,90	260	-28,2	-0,62	-0,8	-0,55	0,1054	-1,64	-1,56	95,9	96,6	ano	ne
20	11	7	0,6	95,3	0	1,90	160	-28,2	0,72	0,6	0,76	0,105	-0,24	-0,19	95,1	95,3	ano	ne
20	11	8	1,2	95,5	0	1,90	130	-28,2	1,29	1,2	1,32	0,1048	0,36	0,4	95,4	96,2	ano	ne
20	11	9	2,1	95,8	5	2,90	160	5	2,89	2,1	3,31	0,1648	2,25	2,63	88,7	95,8	ne	ne
20	11	10	3	94,7	13	0,00	0	13	4,48	3	4,68	0,0398	3,39	3,92	85,8	94,7	ne	ne
20	11	11	3,9	91,4	20	1,90	130	20	5,18	3,9	5,7	0,1131	4,5	5,06	81,7	91,4	ne	ne
20	11	12	4,2	96,3	25	0,00	0	25	6	4,2	6,29	0,0446	4,95	5,6	85	96,3	ne	ne
20	11	13	3,9	95,1	25	2,90	180	25	5,08	3,9	5,71	0,1668	4,65	5,21	84,5	95,1	ne	ne
20	11	14	3,7	93,8	20	4,90	170	20	4,49	3,7	5,02	0,2764	4,3	4,71	85,9	93,8	ne	ne
20	11	15	3,3	94,8	13	4,90	160	13	3,98	3,3	4,44	0,276	3,69	4,05	87,9	94,8	ne	ne
20	11	16	3,2	93,5	4	4,90	160	4	3,73	3,2	4,1	0,2755	3,32	3,6	88,2	93,5	ne	ne
20	11	17	2,9	94,7	0	3,90	170	-28,2	2,91	2,9	2,91	0,217	2,06	2,06	94,7	95,2	ano	ne
20	11	18	2,8	90,7	0	2,90	200	-28,2	2,81	2,8	2,82	0,1606	1,96	1,97	90,7	91,4	ne	ne
20	11	19	1,6	91,3	0	2,90	190	-28,2	1,66	1,6	1,69	0,1609	0,76	0,79	91,3	91,7	ne	ne
20	11	20	1,5	94,1	0	3,90	190	-28,2	1,55	1,5	1,58	0,2172	0,66	0,69	94,1	94,3	ano	ne
20	11	21	1	93,9	0	2,90	160	-28,2	1,08	1	1,12	0,161	0,16	0,2	93,8	94,1	ano	ne
20	11	22	0,9	95,4	0	3,90	170	-28,2	0,97	0,9	1,01	0,2173	0,06	0,09	95,3	95,4	ano	ne
20	11	23	2,2	87,5	0	2,90	220	-28,2	2,24	2,2	2,26	0,1608	1,36	1,38	88,1	88,1	ne	ne
															62,50%	95,83%	41,66%	4,16%

Tab. 8 – Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 20. listopad – jižní fasáda.

### **Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:**

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 96,6 % (ve vyznačených položkách) v 5.00 a 6.00 hodin.
- **Globální sluneční záření:** 4 až 25 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády, max. 25 W/m<sup>2</sup> (ve vyznačené položce) ve 12.00 a 13.00 hodin.
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +5,18 °C v 11.00 hodin (ve vyznačené položce)
- **Minimální průměrná teplota v mezeře:** -0,8 °C v 6.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády (nad ránem)
- **Maximální průměrná teplota v mezeře:** +6,29 °C ve 12.00 hod (ve vyznačené položce), během nejvyšší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +4,2 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 2,09 °C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -1,64 °C v 6.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády (nad ránem) při vnější teplotě -0,8 °C a průměrné teplotě v mezeře -0,8 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +5,6 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě +4,2 °C a průměrné teplotě v mezeře -0,8 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 1,4 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0398 m/s v 10.00 hodin (ve vyznačené položce) při oslunění fasády 13 W/m<sup>2</sup> za bezvětří
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,2764 m/s ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce) po 2 hodinách nejvyšší dotace sluneční radiace, při větru 4,9 m/s (návětrná strana). Vzrůst rychlosti proudění vzduchu v mezeře 6,9 krát za 4 hodiny.
- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 81,7 % (ve vyznačené položce) v 11.00 hodin při vnější teplotě +3,9 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 91,4 %, dotaci sluneční radiace 20 W/m<sup>2</sup> a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +5,18 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího o 9,7 %.
- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 100 % (ve vyznačené položce) ve 4.00 hodin při vnější teplotě -0,1 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 95,1 %, mimo dobu oslunění

fasády (nad rámem) a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +0,11 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

#### - Hodnocení kondenzace:

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90\%$  dochází v 62,5 % denní doby v celé délce větrané mezery a v 95,83 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 41,66 % denní doby, vždy však mimo období oslunění fasády

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře dochází v průběhu jedné hodiny (ve 4.00 hod), při dosažení 100 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 1.**

#### D.1.2/ Teplý zatažený den – 1. ledna – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po většinu dne neklesne teplota pod 0°C, sluneční záření reprezentuje pouze položku difúzního slunečního záření v rádech desítek W/m<sup>2</sup> svíslé plochy fasády a vlhkost v průběhu dne je po většinu dne pod hodnotu 90 %. Jedná se o zatažený šedivý zamlžený zimní den. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 9:

TEPLÝ ZATAŽENÝ DEN - 1. LEDEN - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Globální záření přepočtené svisle J/H	Rychlost větru	Směr větru	Teplota fasády x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
1	1	0	1,3	92,5	0	3,30	160	-28,2	1,38	1,3	1,42	0,1139	0,46	0,5	92,3	92,5	ne	ne
1	1	1	1,6	94,2	0	3,80	150	-28,2	1,66	1,6	1,69	0,1312	0,76	0,79	94	94,2	ano	ne
1	1	2	1,8	94,3	0	3,10	160	-28,2	1,86	1,8	1,88	0,1312	0,96	0,98	94,2	94,4	ano	ne
1	1	3	2,2	94,4	0	3,20	180	-28,2	2,24	2,2	2,26	0,1103	1,36	1,38	94,4	94,7	ano	ne
1	1	4	2,9	96	0	4,40	210	-28,2	2,91	2,9	2,92	0,152	2,06	2,06	96	96,4	ano	ne
1	1	5	3,7	93,8	0	3,70	220	-28,2	3,68	3,67	3,7	0,1275	2,85	2,86	93,8	94,5	ano	ne
1	1	6	4,2	93,9	0	4,70	210	-28,2	4,16	4,14	4,2	0,1623	3,34	3,36	93,9	94,7	ano	ne
1	1	7	4,6	92,9	0	5,80	210	-28,2	4,55	4,53	4,6	0,2005	3,74	3,76	92,9	93,7	ne	ne
1	1	8	4,7	91,8	0	3,80	220	-28,2	4,64	4,61	4,7	0,1309	3,83	3,86	91,8	92,8	ne	ne
1	1	9	4,7	91,8	4	4,80	230	4	5,37	4,7	5,73	0,1673	4,82	5,14	85,8	91,8	ne	ne
1	1	10	4,8	89,5	15	4,80	230	15	5,72	4,8	6,21	0,1679	5,25	5,69	81,5	89,5	ne	ne
1	1	11	4,8	90,7	24	3,80	240	24	6,05	4,8	6,63	0,1342	5,52	6,09	80,3	90,7	ne	ne
1	1	12	4,5	90,5	29	5,80	280	29	5,32	4,5	5,91	0,3224	5,37	5,81	82,2	90,5	ne	ne
1	1	13	4,6	87,1	29	5,80	290	29	5,42	4,6	6,01	0,3224	5,47	5,91	79,2	87,1	ne	ne
1	1	14	4,7	82,4	24	5,80	290	24	5,44	4,7	5,98	0,3226	5,42	5,82	75,6	82,4	ne	ne
1	1	15	4,6	76,5	39	5,80	280	39	5,57	4,6	6,27	0,3221	5,76	6,29	68,4	76,5	ne	ne
1	1	16	3,4	69,2	6	4,80	290	6	3,98	3,4	4,36	0,2661	3,58	3,88	65	69,2	ne	ne
1	1	17	1,6	81,2	0	2,80	240	-28,2	1,66	1,6	1,69	0,1552	0,76	0,79	81,1	81,3	ne	ne

1	1	18	1,8	87,1	0	7,80	230	-28,2	1,83	1,8	1,85	0,4372	0,96	0,97	87	87,1	ne	ne
1	1	19	2	84,5	0	6,80	220	-28,2	2,02	2	2,04	0,3807	1,16	1,17	84,5	84,5	ne	ne
1	1	20	1,5	79,4	0	6,80	220	-28,2	1,54	1,5	1,56	0,3808	0,66	0,68	79,3	79,4	ne	ne
1	1	21	1,3	83,6	0	7,80	210	-28,2	1,34	1,3	1,36	0,4372	0,46	0,48	83,4	83,6	ne	ne
1	1	22	1	81,8	0	5,80	210	-28,2	1,05	1	1,09	0,3244	0,16	0,19	81,6	81,8	ne	ne
1	1	23	1,3	85,1	0	4,80	210	-28,2	1,35	1,3	1,39	0,268	0,46	0,49	84,9	85,1	ne	ne
															37,50%	50,00%	25,00%	

Tab. 9 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý zatažený den – 1. leden – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 96 % (ve vyznačené položce) ve 4.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 4 až 39 W/m<sup>2</sup> svíslé plochy fasády, max. 39 W/m<sup>2</sup> (ve vyznačené položce) v 15.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +6,05 °C v 10.00 hodin (ve vyznačené položce)
- **Minimální průměrná teplota v mezeře:** +1,0 °C ve 22.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální průměrná teplota v mezeře:** +6,63 °C v 11.00 hodin (ve vyznačené položce), během nastupujících nejvyšších hodnot dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +4,8 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 1,83 °C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** +0,16 °C v 6.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě +1,0 °C a průměrné teplotě v mezeře +1,05 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +6,29 °C v 15.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě +4,6 °C a průměrné teplotě v mezeře +5,57 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 1,69 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,1103 m/s ve 3.00 hodiny (ve vyznačené položce) v době bez oslunění fasády, při větru 3,2 m/s (návětrná strana)
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,4372 m/s v 18.00 hodin a ve 21.00 hodin (ve vyznačených položkách) v době bez oslunění fasády, při větru 7,8 m/s (návětrná strana). Vzrůst rychlosti proudění vzduchu v mezeře 3,9 krát.
- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 65 % (ve vyznačené položce) v 16.00 hodin při vnější teplotě +3,4 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 69,2 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +3,98 °C, 1 hodinu po období oslunění fasády. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 4,2 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 96,4 % (ve vyznačené položce) ve 4.00 hodiny při vnější teplotě +2,9 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 96 %, mimo dobu oslunění fasády (nad rámem) a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +2,9 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

- **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází v 37,5 % denní doby v celé délce větrané mezery a v 50 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 25 % denní doby, dokonce i ve 3 hodinách počátku doby oslunění fasády

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 2.**

**D.1.3/ Teplý polojasný den – 21. listopadu – jižní fasáda**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém neklesne teplota pod 0°C, sluneční záření reprezentuje převážně položku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a minoritní položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a vlhkost v během dne je pod hodnotu 90 %. Jedná se o polojasný den konce podzimu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 10:

TEPLÝ POLOJASNÝ DEN SE ZVÝŠENOU VLHKOSTÍ - 21. LISTOPAD - JIŽNÍ FASÁDA																			
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtené svisle III	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře	
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne	
21	11	0	2	90,1	0	4,90	210	-28,2	2,03	2	2,05	0,2735	1,16	1,18	90,1	90,3	ne	ne	
21	11	1	2,1	90,1	0	4,90	210	-28,2	2,13	2,1	2,15	0,2735	1,26	1,27	90,1	90,3	ne	ne	
21	11	2	2,7	86,5	0	3,90	190	-28,2	2,71	2,7	2,72	0,2171	1,86	1,87	86,5	87	ne	ne	
21	11	3	2,5	87,7	0	3,90	220	-28,2	2,52	2,5	2,53	0,2171	1,66	1,67	87,7	88,2	ne	ne	
21	11	4	3,3	87	0	6,90	240	-28,2	3,3	3,3	3,3	0,3863	2,46	2,46	87	87,4	ne	ne	
21	11	5	3,4	87,2	0	5,90	240	-28,2	3,39	3,39	3,4	0,3298	2,56	2,56	87,2	87,7	ne	ne	
21	11	6	3,5	87,2	0	6,90	250	-28,2	3,49	3,49	3,5	0,3863	2,65	2,66	87,2	87,6	ne	ne	
21	11	7	3	88,2	0	5,90	240	-28,2	3	3	3,01	0,3299	2,16	2,16	88,2	88,6	ne	ne	
21	11	8	3,5	88,5	0	4,90	250	-28,2	3,49	3,49	3,5	0,2734	2,65	2,66	88,5	89,1	ne	ne	
21	11	9	3,8	87,5	12	6,90	270	12	4,31	3,8	4,7	0,3854	4,16	4,44	82,5	87,5	ne	ne	
21	11	10	3,7	75	38	5,90	280	38	4,66	3,7	5,36	0,3278	4,83	5,35	67,2	75	ne	ne	
21	11	11	4,3	72,3	383	8,90	280	383	8,32	4,3	11,64	0,4957	14,48	17,33	44,1	72,3	ne	ne	
21	11	12	4,4	70,2	566	6,90	270	566	11,67	4,4	17,3	0,3743	19,44	24,46	30,1	70,2	ne	ne	
21	11	13	4,3	67,5	249	7,90	270	249	7,3	4,3	9,71	0,439	10,92	13,02	46,9	67,5	ne	ne	

21	11	14	5,3	60,7	508	7,90	260	508	10,87	5,3	15,39	0,4599	18,8	22,72	31,2	60,7	ne	ne
21	11	15	4,2	64,6	384	6,90	250	384	8,98	4,2	12,74	0,4018	14,41	17,73	36,5	64,6	ne	ne
21	11	16	3,3	63,6	25	8,90	270	25	3,86	3,3	4,32	0,5009	4,05	4,36	59,5	63,6	ne	ne
21	11	17	2,5	69,9	0	6,90	250	-28,2	2,51	2,5	2,52	0,3864	1,66	1,67	69,9	70,2	ne	ne
21	11	18	2,1	69	0	5,90	260	-28,2	2,13	2,1	2,14	0,33	1,26	1,27	69	69,3	ne	ne
21	11	19	1,5	73,5	0	4,90	240	-28,2	1,54	1,5	1,58	0,2736	0,66	0,68	73,5	73,7	ne	ne
21	11	20	1,4	73,5	0	5,90	250	-28,2	1,44	1,4	1,47	0,33	0,56	0,58	73,5	73,6	ne	ne
21	11	21	0,7	75	0	4,90	240	-28,2	0,77	0,7	0,81	0,2737	-0,14	-0,11	75	75,1	ne	ne
21	11	22	1,1	74,2	0	5,90	250	-28,2	1,15	1,1	1,18	0,33	0,29	0,26	74,2	74,3	ne	ne
21	11	23	0,4	79,4	0	3,90	240	-28,2	0,49	0,4	0,54	0,2174	-0,44	-0,4	79,3	79,4	ne	ne
															8,33%	8,33%		

Tab. 10 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý polojasný den – 21. listopad – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 90,1 % (ve vyznačených položkách) v 0.00 a 1.00 hodin.
- **Globální sluneční záření:** 12 až 566 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády, max. 566 W/m<sup>2</sup> (ve vyznačené položce) ve 12.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +11,67 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace.
- **Minimální teplota v mezeře:** +0,4 °C ve 23.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +17,63 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +4,4 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 13,23 °C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -0,14 °C ve 21.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě +0,7 °C a průměrné teplotě v mezeře +0,77 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +24,46 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě +4,4 °C a průměrné teplotě v mezeře +11,67 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 20,6 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,2171 m/s ve 2.00 a 3.00 hodin (ve vyznačených položkách) v době bez oslunění fasády, při větru 4,9 m/s (návětrná strana)
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,5009 m/s v 16.00 hodin (ve vyznačené položce) v závěru období oslunění fasády, při větru 8,9 m/s (návětrná strana). Vzrůst rychlosti proudění vzduchu v mezeře 2,3 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 30,1 % (ve vyznačené položce) ve 12.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +4,4 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 70,2 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +11,67 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 40,1 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 90,3 % (ve vyznačených položkách) v 0.00 a 1.00 hodin při vnější teplotě +2 a +2,1 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 90,1 %, mimo dobu oslunění fasády (o půlnoci) a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +2,03 a +2,13 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

- **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází v 8,33 % denní doby v celé délce větrané mezery a v 8,33 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády nedochází

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 3.**

#### **D.1.4/ Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu směrem do mrazivého polojasného dne – 22. prosince – jižní fasáda**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po většinu dne neklesne teplota pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády i položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a vlhkost v během dne je pod hodnotu 90 %. V průběhu dne se dá predikovat změna klimatu směrem do mrazivého polojasného dne (např. indikací změnu směru větru a s tím navazující změnou teploty do hodnot pod nulou). Jedná se o polojasný zimní den signalizující změnu počasí do mrazivých zimních dnů. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 11:

TEPLÝ POLOJASNÝ DEN - 22. PROSINEC - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtené svisle III	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
22	12	0	3,6	77,2	0	8,90	260	-28,2	3,59	3,59	3,6	0,4992	2,75	2,76	77,2	77,6	ne	ne
22	12	1	2	83,1	0	5,90	260	-28,2	2,03	2	2,05	0,33	1,16	1,17	83,1	83,3	ne	ne
22	12	2	1,8	84,3	0	6,90	260	-28,2	1,83	1,8	1,85	0,3864	0,96	0,97	84,3	84,4	ne	ne
22	12	3	1,7	84,1	0	6,90	260	-28,2	1,73	1,7	1,75	0,3864	0,86	0,88	84,1	84,2	ne	ne
22	12	4	1,6	84,1	0	5,90	250	-28,2	1,64	1,6	1,66	0,33	0,76	0,78	84,1	84,2	ne	ne
22	12	5	1,3	86,6	0	6,90	240	-28,2	1,34	1,3	1,37	0,3864	0,46	0,48	86,6	86,6	ne	ne
22	12	6	1,2	83,6	0	7,90	250	-28,2	1,24	1,2	1,27	0,4429	0,36	0,38	83,6	83,6	ne	ne
22	12	7	1,4	83,8	0	7,90	240	-28,2	1,43	1,4	1,46	0,4429	0,56	0,58	83,8	83,8	ne	ne
22	12	8	1,1	84,8	0	7,90	240	-28,2	1,14	1,1	1,17	0,4429	0,26	0,28	84,7	84,8	ne	ne
22	12	9	0,5	88,9	54	6,90	310	54	1,61	0,5	2,46	0,39	2,11	2,72	77,7	88,9	ne	ne
22	12	10	1,4	80,9	74	4,90	270	74	3,17	1,4	4,36	0,2685	3,61	4,54	66,1	80,9	ne	ne
22	12	11	1,4	77,9	175	4,90	260	175	4,91	1,4	7,26	0,2636	6,62	8,46	52,1	77,9	ne	ne
22	12	12	1,5	79,4	56	4,90	270	56	2,96	1,5	3,95	0,2693	3,17	3,94	67,3	79,4	ne	ne
22	12	13	2	76,1	600	6,90	270	600	9,7	2	15,67	0,3735	17,95	23,26	30,6	76,1	ne	ne
22	12	14	2,4	68,5	856	5,90	280	856	15,08	2,4	24,35	0,3021	25,15	33,68	16,8	68,5	ne	ne
22	12	15	2,2	68,1	518	5,90	280	518	9,86	2,2	15,51	0,3131	15,97	21,14	28,1	68,1	ne	ne
22	12	16	0,9	73,8	7	4,90	280	7	1,55	0,9	1,99	0,2716	1,11	1,45	68,9	73,8	ne	ne
22	12	17	-1	93	0	4,90	350	-28,2	-0,89	-1	-0,81	0,2731	-1,84	-1,78	92,3	93	ano	ne
22	12	18	-1,5	94,5	0	2,90	300	-28,2	-1,33	-1,5	-1,24	0,1596	-2,34	-2,26	93,7	94,5	ano	ne
22	12	19	-1,5	92,7	0	5,90	330	-28,2	-1,39	-1,5	-1,31	0,3296	-2,34	-2,28	91,9	92,7	ano	ne
22	12	20	-2,2	94,2	0	4,90	340	-28,2	-2,06	-2,2	-1,96	0,273	-3,04	-2,97	93,1	94,2	ano	ne
22	12	21	-3,2	89,6	0	4,90	310	-28,2	-3,03	-3,2	-2,91	0,2729	-4,04	-3,95	88,4	89,6	ne	ne
22	12	22	-2,7	92	0	3,90	300	-28,2	-2,52	-2,7	-2,4	0,2163	-3,54	-3,45	90,8	92	ne	ne
22	12	23	-2,9	91,8	0	5,90	330	-28,2	-2,76	-2,9	-2,66	0,3295	-3,74	-3,66	90,7	91,8	ne	ne
															25,00%	25,00%		

Tab. 11 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu směrem do mrazivého polojasného dne – 22. prosinec – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 94,5 % (ve vyznačené položce) v 18.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 7 až 856 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády, max. 856 W/m<sup>2</sup> (ve vyznačené položce) ve 14.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +15,08 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace.
- **Minimální teplota v mezeře:** -3,2 °C ve 21.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +24,35 °C ve 14.00 hod (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +2,4 °C. Δt (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 21,95 °C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -4,04 °C ve 21.00hod (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -3,2 °C a průměrné teplotě v mezeře -3,03 °C



- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +33,68 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě +2,4 °C a průměrné teplotě v mezeře +15,08 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 31,28 °C

- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,1596 m/s v 18.00 hodin (ve vyznačené položce) v době bez oslunění fasády, při větru 2,9 m/s (závětrná strana)

- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,4992 m/s v 0.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo období oslunění fasády, při větru 8,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 18.00 hod dochází ke 3,1 krát snížení rychlosti proudění vzduchu v mezeře.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 16,8 % (ve vyznačené položce) ve 14.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +2,4 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 68,5 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +15,8 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 51,7 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 94,5 % (ve vyznačené položce) v 18.00 hodin při vnější teplotě -1,5 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 94,5 % (maximální vlhkost vnějšího prostředí v průběhu dne), mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -1,33 °C.

- **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází ve 25 % denní doby v celé délce větrané mezery a ve 25 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 25 % denní doby

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje:** Příloha 4.

**D.1.5/ Chladný zatažený den (se zvýšenou vlhkostí) – 27. listopadu – jižní fasáda**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém se po celý den pohybuje teplota okolo 0°C, sluneční záření reprezentuje pouze položku difúzního slunečního záření v rádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a zvýšená vlhkost v průběhu dne neklesne po většinu dne pod hodnotu 90

% . Jedná se o zatažený šedivý zamřizený den konce podzimu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 12:

TEPLÝ POLOJASNÝ DEN ( S VLVIVEM VLHKOSTI) - 22. PROSINEC - JIŽNÍ FASÁDA																			
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost vzduchu	Globální záření přepočít svislá JIH	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. lce obkladu	Max. teplota vnitř. lce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním lci obkladu	Kondenzace v mezeře	
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne	
27	11	0	0,7	96,9	0	0,90	190	-28,2	0,84	0,7	0,86	0,0494	-0,14	-0,09	96,7	99,1	ano	ne	
27	11	1	0,8	95,4	0	0,90	250	-27,2	0,93	0,8	0,96	0,0494	-0,04	0,01	95,2	97,7	ano	ne	
27	11	2	1	95,5	0	0,00	0	-28,2	1,14	1	1,14	0,0098	0,16	0,2	95,5	100	ano	ano	
27	11	3	1	95,5	0	0,00	0	-28,2	1,14	1	1,14	0,0098	0,16	0,2	95,5	100	ano	ano	
27	11	4	1,1	95,5	0	2,90	250	-28,2	1,18	1,1	1,22	0,161	0,26	0,3	95,4	95,7	ano	ne	
27	11	5	1	93,9	0	2,90	240	-28,2	1,13	1	1,2	0,1613	0,23	0,29	93,4	93,6	ano	ne	
27	11	6	0,5	95,2	0	2,90	240	-28,2	0,6	0,5	0,65	0,1611	-0,34	-0,29	95	95,2	ano	ne	
27	11	7	0,8	93,8	0	1,90	250	-28,2	0,91	0,8	0,95	0,1049	-0,04	0,01	93,6	94,4	ano	ne	
27	11	8	1,2	92,5	0	1,90	250	-28,2	1,29	1,2	1,32	0,1048	0,36	0,4	92,4	93,2	ano	ne	
27	11	9	1,3	94	5	1,90	230	5	2,29	1,3	2,69	0,1112	1,45	1,88	86,5	94	ne	ne	
27	11	10	1,9	92,9	15	2,90	240	15	2,92	1,9	3,47	0,166	2,35	2,84	84	92,9	ne	ne	
27	11	11	2	88,7	24	2,90	230	24	3,22	2	3,87	0,167	2,72	3,3	78,5	88,7	ne	ne	
27	11	12	1,9	90	29	2,90	240	29	3,23	1,9	3,95	0,1376	2,77	3,41	78,7	90	ne	ne	
27	11	13	0,8	95,4	29	1,90	250	29	2,43	0,8	3,12	0,1157	1,67	2,39	82,1	95,4	ne	ne	
27	11	14	0,7	96,9	24	0,00	0	24	2,64	0,7	2,98	0,047	1,42	2,13	84,4	96,9	ne	ne	
27	11	15	0,2	98,4	15	1,90	320	15	1,49	0,2	2,03	0,1133	0,65	1,22	87,7	98,4	ne	ne	
27	11	16	0,1	96,8	5	0,90	310	5	1,52	0,1	1,65	0,0263	0,25	0,74	88,6	96,8	ne	ne	
27	11	17	-0,1	95,1	0	0,00	0	-28,2	0,11	-0,1	0,12	0,0126	-0,94	-0,87	95,1	100	ano	ano	
27	11	18	0	98,4	0	0,90	190	-28,2	0,18	0	0,21	0,0499	-0,84	-0,78	98	100	ano	ano	
27	11	19	0	96,7	0	0,00	0	-28,2	0,2	0	0,21	0,0123	-0,84	-0,78	96,7	100	ano	ano	
27	11	20	0	96,7	0	0,90	110	-28,2	0,18	0	0,21	0,0499	-0,84	-0,78	96,3	98,8	ano	ne	
27	11	21	-0,2	96,7	0	0,00	0	-28,2	0,01	-0,2	0,02	0,0128	-1,04	-0,97	96,4	100	ano	ano	
27	11	22	-0,2	96,7	0	1,90	40	-28,2	-0,05	-0,2	0,01	0,1029	-1,04	-0,97	96,2	96,8	ano	ne	
27	11	23	-0,3	96,7	0	0,90	10	-28,2	-0,1	-0,3	-0,07	0,045	-1,14	-1,07	96,1	98,9	ano	ne	
															66,70%	95,80%	66,70%	29,20%	

Tab. 12 - Výsledky výpočtu – výpočtový stav: chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 27. listopad – jižní fasáda

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 98,4 % (ve vyznačené položce) v 18.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 5 až 29 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 29 W/m<sup>2</sup> ve 12.00 až 13.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +3,23 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace.
- **Minimální teplota v mezeře:** -0,3 °C ve 23.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +3,95 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +1,9 °C. Δt (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 2,05 °C

- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -1,14 °C ve 23.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -0,3 °C a průměrné teplotě v mezeře -0,1 °C

- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +3,41 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě +1,9 °C a průměrné teplotě v mezeře +3,23 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = pouhých 0,18 °C

- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0098 m/s ve 2.00 a 3.00 hodiny (ve vyznačených položkách) mimo dobu oslunění fasády, za bezvětří.

- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,1613 m/s v 5.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo období oslunění fasády, při větru 2,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 18.00 hodin dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 16,5 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 78,5 % (ve vyznačené položce) v 11.00 hodin, v době oslunění fasády, avšak mimo hodnoty největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +2,0 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 88,7 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +3,23 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 10,2 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 100 % (ve vyznačených položkách) v 17.00, 18.00 a 19.00 hodin, při vnější teplotě 0 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 95,1, 98,4 a 96,7 % (98,4 % je maximální vlhkost vnějšího prostředí v průběhu dne), těsně mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +0,11, +0,18 a +0,2 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

#### - **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází v 66,7 % denní doby v celé délce větrané mezery a v 95,8 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází v 66,7 % denní doby, tedy po většinu dne

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře dochází ve 29,2 % denní doby.

- Z hlediska výskytu kondenzace se jedná o jeden z nejhorších hodnocených výpočtových stavů.

Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 5.

### D.1.6/ Chladný zatažený den – 26. prosince – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém se po celý den pohybuje teplota okolo 0°C, sluneční záření reprezentuje pouze položku difúzního slunečního záření v rádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o zatažený šedivý zimní den v hl. m. Praze. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 13:

CHLADNÝ ZATAŽENÝ DEN - 26. PROSINEC - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtené svisle	Rychlost větru	Směr větru	Tep. b.ik fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
26	12	0	-1	84,2	0	7,90	230	-28,2	-0,92	-1	-0,86	0,443	-1,84	-1,8	83,7	84,2	ne	ne
26	12	1	-0,7	84,5	0	8,90	230	-28,2	-0,63	-0,7	-0,56	0,4994	-1,54	-1,5	84,1	84,5	ne	ne
26	12	2	-0,5	84,7	0	7,90	230	-28,2	-0,43	-0,5	-0,38	0,443	-1,34	-1,3	84,3	84,7	ne	ne
26	12	3	-0,3	85	0	6,90	230	-28,2	-0,23	-0,3	-0,17	0,3865	-1,14	-1,1	84,6	85	ne	ne
26	12	4	0,1	83,9	0	8,90	240	-28,2	0,15	0,1	0,19	0,4994	-0,74	-0,71	83,7	83,9	ne	ne
26	12	5	0,5	85,7	0	9,90	240	-28,2	0,54	0,5	0,58	0,5558	-0,34	-0,32	85,5	85,7	ne	ne
26	12	6	0,4	87,3	0	7,90	240	-28,2	0,45	0,4	0,49	0,4429	-0,44	-0,41	87,1	87,3	ne	ne
26	12	7	0,7	87,5	0	8,90	230	-28,2	0,74	0,7	0,78	0,4993	-0,14	-0,12	87,4	87,5	ne	ne
26	12	8	1,1	84,8	0	8,90	240	-28,2	1,14	1,1	1,16	0,4993	0,26	0,28	84,7	84,8	ne	ne
26	12	9	1,4	83,8	8	7,90	230	8	1,85	1,4	2,21	0,4442	1,64	1,89	79,4	83,8	ne	ne
26	12	10	1,7	84,1	34	7,90	240	34	2,45	1,7	3,04	0,4451	2,71	3,13	76,8	84,1	ne	ne
26	12	11	2	81,7	52	7,90	240	52	2,95	2	3,7	0,4457	3,55	4,09	72,7	81,7	ne	ne
26	12	12	2,4	80,8	63	7,90	240	63	3,47	2,4	4,32	0,4461	4,28	4,88	70,9	80,8	ne	ne
26	12	13	2,8	80	63	5,90	230	63	4,13	2,8	5,09	0,3345	4,68	5,4	68,5	80	ne	ne
26	12	14	2,8	82,7	53	3,90	230	53	4,35	2,8	5,33	0,2238	4,38	5,17	69,8	82,7	ne	ne
26	12	15	2,7	83,8	34	3,90	220	34	3,9	2,7	4,65	0,2222	3,71	4,33	73,8	83,8	ne	ne
26	12	16	2,2	84,7	8	1,90	190	8	3,23	2,2	3,65	0,1114	2,44	2,89	77,7	84,7	ne	ne
26	12	17	1,3	86,6	0	1,90	170	-28,2	1,38	1,3	1,42	0,1047	0,46	0,5	86,6	87,4	ne	ne
26	12	18	0,9	89,2	0	0,90	170	-28,2	1,03	0,9	1,05	0,0493	0,06	0,11	89,1	91,7	ne	ne
26	12	19	0,6	85,9	0	2,90	150	-28,2	0,7	0,6	0,75	0,1611	-0,24	-0,2	85,8	86,1	ne	ne
26	12	20	0,1	87,1	0	2,90	150	-28,2	0,21	0,1	0,27	0,1612	-0,74	-0,69	86,9	87,1	ne	ne
26	12	21	-0,7	87,9	0	3,90	140	-28,2	-0,58	-0,7	-0,51	0,2175	-1,48	-1,54	87,4	87,9	ne	ne
26	12	22	-0,1	86,9	0	3,90	150	-28,2	0	-0,1	0,06	0,2174	-0,94	-0,89	86,6	86,9	ne	ne
26	12	23	-0,1	83,6	0	2,90	160	-28,2	0,02	-0,1	0,08	0,1612	-0,94	-0,88	83,3	83,6	ne	ne
															4,20%			

Tab. 13 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: chladný zatažený den – 26. prosinec – jižní fasáda.

#### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu: 89,2 % (ve vyznačené položce) v 18.00 hodin
- Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu: 80 % (ve vyznačené položce) ve 13.00 hodin
- Globální sluneční záření: 8 až 63 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 63 W/m<sup>2</sup> ve 12.00 a 13.00 hodin

- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +4,35 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce), v době po maximální dotaci sluneční radiace.

- **Minimální teplota v mezeře:** -1,0 °C v 0.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády

- **Maximální teplota v mezeře:** +5,33 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce), v době po maximální dotaci sluneční radiace, při vnější teplotě +2,8 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 2,53°C

- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -1,84 °C v 0.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -1 °C a průměrné teplotě v mezeře -0,92 °C

- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +5,17 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce) v době po nejvyšší dotaci sluneční radiace při vnější teplotě +2,8 °C a průměrné teplotě v mezeře +4,35 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 2,37 °C

- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0493 m/s v 18.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády, rychlost větru 0,9 m/s (návětrná strana).

- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,5558 m/s v 5.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo období oslunění fasády, při větru 9,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 18.00 hodin dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 11,26 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 68,5 % (ve vyznačené položce) ve 13.00 hodin, v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě +2,8 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 80 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +4,13 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 11,5 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 91,7 % (ve vyznačené položce) v 18.00 hodin, při vnější teplotě 0,9 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 89,2 %, mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +1,03 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

- **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází ve 4,2 %

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády nedochází

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 6.**

### D.1.7/ Studený zatažený den (s vlivem vlhkosti) – 28. listopadu – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota pod 0°C, sluneční záření reprezentuje pouze položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> (v tomto dni výjimečně i 103 W/m<sup>2</sup> po dobu jedné hodiny) svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje nad hodnotu 90 %. Jedná se o zatažený šedivý podzimní den s teplotami pod bodem mrazu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 14:

STUDENÝ ZATAŽENÝ DEN (S VLVIVEM VLHKOSTI) - 28. LISTOPAD - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtené svisle	Rychlost větru	Směr větru	Tem. lok. fasáda x obkladu NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
28	11	0	-0,4	96,6	0	0,90	30	-28,2	-0,2	-0,4	-0,17	0,0449	-1,24	-1,17	96	96,8	ano	ne
28	11	1	-0,4	96,6	0	0,90	340	-28,2	-0,2	-0,4	-0,17	0,0449	-1,24	-1,17	96	96,8	ano	ne
28	11	2	-0,5	96,6	0	1,90	350	-28,2	-0,33	-0,5	-0,27	0,1028	-1,34	-1,27	96	96,6	ano	ne
28	11	3	-0,6	96,6	0	0,00	0	-28,2	-0,36	-0,6	-0,35	0,0137	-1,44	-1,36	96,1	100	ano	ano
28	11	4	-1	96,5	0	0,90	350	-28,2	-0,76	-1	-0,73	0,0444	-1,84	-1,76	95,7	98,7	ano	ne
28	11	5	-1,3	96,4	0	1,90	320	-28,2	-1,1	-1,3	-1,02	0,1026	-2,14	-2,05	95,7	96,4	ano	ne
28	11	6	-1,1	96,4	0	1,90	350	-28,2	-0,91	-1,1	-0,83	0,1026	-1,94	-1,86	95,6	96,4	ano	ne
28	11	7	-1,2	96,4	0	0,90	300	-28,2	-0,95	-1,2	-0,91	0,0443	-2,04	-1,95	95,6	98,6	ano	ne
28	11	8	-1,2	96,4	0	0,90	330	-28,2	-0,95	-1,2	-0,91	0,0443	-2,04	-1,95	95,6	98,6	ano	ne
28	11	9	-0,9	96,5	8	0,00	0	8	0,61	-0,9	0,84	0,0408	-0,66	-0,12	88,7	96,5	ne	ne
28	11	10	-0,7	96,6	21	0,90	260	21	1,51	-0,7	1,55	0,0065	-0,07	0,63	84	100	ano	ne
28	11	11	-0,6	96,6	32	2,90	300	32	0,95	-0,6	1,75	0,1528	0,35	1,09	82,1	96,6	ne	ne
28	11	12	-0,7	94,8	38	3,90	320	38	0,71	-0,7	1,58	0,2117	0,43	1,15	80,7	94,8	ne	ne
28	11	13	-0,3	90	103	2,90	310	103	3,01	-0,3	4,64	0,144	2,77	4,32	64,1	90	ne	ne
28	11	14	-0,2	90	32	1,90	310	32	1,73	-0,2	2,39	0,0901	0,75	1,57	76,4	90	ne	ne
28	11	15	-0,1	85,2	21	2,90	310	21	1,17	-0,1	1,83	0,1542	0,53	1,13	75,2	85,2	ne	ne
28	11	16	-0,6	87,9	7	2,90	320	7	0,36	-0,6	0,86	0,1558	-0,39	0,07	79,8	87,9	ne	ne
28	11	17	-2,1	90,4	0	1,90	300	-28,2	-1,86	-2,1	-1,77	0,1023	-2,94	-2,84	89,4	90,4	ne	ne
28	11	18	-1,6	90,7	0	1,90	240	-28,2	-1,38	-1,6	-1,3	0,1025	-2,44	-2,35	89,9	90,7	ne	ne
28	11	19	-1,2	85,7	0	2,90	250	-28,2	-1,04	-1,2	-0,95	0,1597	-2,04	-1,96	85,1	85,7	ne	ne
28	11	20	-1,2	83,9	0	2,90	230	-28,2	-1,04	-1,2	-0,95	0,1597	-2,04	-1,96	83,3	83,9	ne	ne
28	11	21	-1,3	85,7	0	3,90	250	-28,2	-1,16	-1,3	-1,07	0,2164	-2,14	-2,07	85,1	85,7	ne	ne
28	11	22	-1,4	89,1	0	4,90	260	-28,2	-1,28	-1,4	-1,19	0,2739	-2,24	-2,18	88,4	89,1	ne	ne
28	11	23	-1,7	88,9	0	3,90	250	-28,2	-1,55	-1,7	-1,46	0,2177	-2,54	-2,46	88,1	88,9	ne	ne
															37,50%	70,83%	41,66%	4,16%

Tab. 14 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: studený zatažený den s vlivem vlhkosti – 28. listopad – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu: 96,6 % (ve vyznačených položkách) v 10.00 a 11.00 hodin

- **Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 83,9 % (ve vyznačené položce) ve 20.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 8 až 103 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 103 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +3,01 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace.
- **Minimální teplota v mezeře:** -2,1 °C v 17.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +4,64 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -0,3 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 4,94°C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -2,54 °C ve 23.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -1,7 °C a průměrné teplotě v mezeře -1,55 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +4,32 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -0,3 °C a průměrné teplotě v mezeře +3,01 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 4,62 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0065 m/s v 10.00 hodin (ve vyznačené položce), v době oslunění fasády, rychlost větru 0,9 m/s (návětrná strana).
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,2739 m/s ve 22.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo období oslunění fasády, při větru 4,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 10.00 hod dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 42,13 krát.
- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 64,1 % (ve vyznačené položce) ve 13.00 hodin, v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -0,3 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 90 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +3,01 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 25,9 %.
- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 100 % (ve vyznačené položce) v 10.00 hodin, při vnější teplotě -0,7 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 96,6 %, v době oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +1,51 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

## - Hodnocení kondenzace:

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90 \%$  dochází v 37,5 % denní doby v celé délce větrané mezery a v 70,83 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 41,66 % denní doby

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře dochází ve 4,16 % denní doby.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 7.**

### D.1.8/ Mrazivý polojasný den – 23. prosince – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> a přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o polojasný zimní den s teplotami pod bodem mrazu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 15:

MRAZIVÝ POLOJASNÝ DEN - 23. PROSINEC - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtené svislá IIH	Rychlost větru	Směr větru	Teplota fasády x obložení NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
23	12	0	-3,5	91,5	0	4,90	310	-28,2	-3,32	-3,5	-3,2	0,2729	-4,34	-4,25	90,2	91,5	ne	ne
23	12	1	-3,6	87,2	0	3,90	310	-28,2	-3,39	-3,6	-3,26	0,2162	-4,44	-4,33	85,9	87,2	ne	ne
23	12	2	-4	91,1	0	4,90	310	-28,2	-3,81	-4	-3,68	0,2728	-4,84	-4,74	89,6	91,1	ne	ne
23	12	3	-5,6	78,9	0	4,90	320	-28,2	-5,37	-5,6	-5,21	0,2727	-6,44	-6,32	77,5	78,9	ne	ne
23	12	4	-5,8	76,3	0	3,90	310	-28,2	-5,52	-5,8	-5,35	0,2159	-6,64	-6,5	74,9	76,3	ne	ne
23	12	5	-4,7	90,7	0	2,90	300	-28,2	-4,41	-4,7	-4,26	0,159	-5,54	-5,4	89	90,7	ne	ne
23	12	6	-4,8	81,4	0	5,90	310	-28,2	-4,62	-4,8	-4,48	0,3294	-5,64	-5,54	80,1	81,4	ne	ne
23	12	7	-6,6	82,9	0	3,90	310	-28,2	-6,3	-6,6	-6,11	0,2158	-7,44	-7,29	81,1	82,9	ne	ne
23	12	8	-8,3	80	0	3,90	300	-28,2	-7,95	-8,3	-7,73	0,2156	-9,14	-8,96	78	80	ne	ne
23	12	9	-9,9	84,6	8	3,90	290	8	-8,81	-9,9	-8,13	0,2128	-9,56	-9,1	74,4	84,6	ne	ne
23	12	10	-7,9	80,6	436	2,90	250	436	6,76	-7,9	-11,29	0,0787	5,11	11,13	20,6	80,6	ne	ne
23	12	11	-7,5	78,1	587	3,90	280	587	5,8	-7,5	13,47	0,1633	8,1	16,25	17,2	78,1	ne	ne
23	12	12	-6,3	69,4	660	2,90	280	660	17,45	-6,3	22,19	0,0468	11,24	22,31	11,2	69,4	ne	ne
23	12	13	-5,2	71,8	662	2,90	280	662	18,68	-5,2	23,3	0,0458	12,39	23,47	11,5	71,8	ne	ne
23	12	14	-4,2	62,2	592	0,90	240	592	10,19	-4,2	17,83	0,143	11,53	20,1	13,8	62,2	ne	ne
23	12	15	-4,8	65,1	447	0,90	280	447	7,57	-4,8	13,27	0,128	8,53	14,21	18,4	65,1	ne	ne
23	12	16	-6,4	66,7	54	0,90	260	54	-2,95	-6,4	-2,43	0,0401	-4,79	-3,54	51,1	66,7	ne	ne
23	12	17	-7,7	71,9	0	1,90	190	-28,2	-7,21	-7,7	-7,02	0,1004	-8,54	-8,33	71,6	71,9	ne	ne
23	12	18	-8,5	73,3	0	1,90	210	-28,2	-7,97	-8,5	-7,77	0,1001	-9,34	-9,11	71,6	73,3	ne	ne
23	12	19	-8,5	73,3	0	3,90	170	-28,2	-8,14	-8,5	-7,92	0,2156	-9,34	-9,16	71,6	73,3	ne	ne
23	12	20	-10,6	80	0	3,90	210	-28,2	-10,18	-10,6	-9,92	0,2153	-11,44	-11,23	77,6	80	ne	ne
23	12	21	-11,5	87	0	3,90	210	-28,2	-11,05	-11,5	-10,77	0,2152	-12,34	-12,11	84	87	ne	ne
23	12	22	-11,7	86,4	0	3,90	220	-28,2	-11,25	-11,7	-10,96	0,2152	-12,54	-12,31	83,4	86,4	ne	ne
23	12	23	-10,9	87,5	0	2,90	190	-28,2	-10,39	-10,9	-10,11	0,1578	-11,74	-11,49	84,6	87,5	ne	ne
															4,16%	12,50%		

Tab. 15 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý polojasný den – 23. prosinec – jižní fasáda.



### **Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:**

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 91,5 % (ve vyznačené položce) v 0.00 hodin
- **Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 62,2 % (ve vyznačené položce) ve 14.00 hodin v období maximálních dotací slunečního záření
- **Globální sluneční záření:** 8 až 662 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 662 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +18,68 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace.
- **Minimální teplota v mezeře:** -11,7 °C ve 22.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +23,3 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -4,2 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 27,5°C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -12,54 °C ve 22.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -11,7 °C a průměrné teplotě v mezeře -11,25 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +23,47 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -5,2 °C a průměrné teplotě v mezeře +18,68 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 28,67 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0401 m/s v 16.00 hodin (ve vyznačené položce) v době oslunění fasády, rychlost větru 0,9 m/s (návětrná strana).
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,3294 m/s v 6.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo období oslunění fasády, při větru 5,9 m/s (závětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 16.00 hod dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 8,21 krát.
- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 11,2 % (ve vyznačené položce) ve 12.00 hodin, v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -6,3 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 69,4 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +17,45 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 58,2 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 91,5 % (ve vyznačené položce) v 0.00 hodin při vnější teplotě -3,5 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 91,5 %, mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -3,32 °C.

**- Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází ve 4,16 % denní doby v celé délce větrané mezery a ve 12,5 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází nedochází

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje Příloha 8.**

**D.1.9/ Mrazivý polojasný den (s vlivem vlhkosti) – 23. února – jižní fasáda**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> i přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po významnou část dne pohybuje nad hodnotu 90 %. Jedná se o polojasný zimní den s teplotami pod bodem mrazu a zvýšenou vlhkostí. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 16:

MRAZIVÝ POLOJASNÝ DEN (S VLVIVEM VLHKOSTI) - 23.ÚNOR - JIŽNÍ FASÁDA																			
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočít svislá IIIH	Rychlost větru	Směr větru	Tep. bok fasády x oblaha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře	
			°	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne	
23	2	0	-0.1	95.1	0	5,90	290	-28,2	-0,02	-0,1	0,03	0,3297	-0,94	-0,9	84,8	85,1	ne	ne	
23	2	1	-0.5	96.6	0	9,90	300	-28,2	-0,44	-0,5	-0,4	0,5556	-1,34	-1,31	96,1	96,6	ano	ne	
23	2	2	-1.9	96.2	0	3,90	260	-28,2	-1,74	-1,9	-1,64	0,2163	-2,74	-2,66	96,2	95,2	ano	ne	
23	2	3	-0.9	96.5	0	2,90	290	-28,2	-0,75	-0,9	-0,67	0,1597	-1,74	-1,67	95,9	96,5	ano	ne	
23	2	4	-0.7	96.6	0	1,90	340	-28,2	-0,52	-0,7	-0,46	0,1028	-1,54	-1,46	95,9	96,6	ano	ne	
23	2	5	-0.8	96.6	0	0,00	0	-28,2	-0,55	-0,8	-0,54	0,0141	-1,64	-1,56	96,6	100	ano	ano	
23	2	6	-0.4	96.6	0	2,90	260	-28,2	-0,27	-0,4	-0,2	0,349	-1,24	-1,18	96	96,6	ano	ne	
23	2	7	-1.1	96.4	0	1,90	310	-28,2	-0,91	-1,1	-0,83	0,1026	-1,94	-1,86	96,2	96,4	ano	ne	
23	2	8	-0.7	98.3	17	1,90	310	17	0,79	-0,7	1,32	0,0933	-0,19	0,44	86,2	98,3	ne	ne	
23	2	9	-0.5	98.3	38	1,90	300	38	1,63	-0,5	2,35	0,0886	0,63	1,53	81,5	98,3	ne	ne	
23	2	10	-0.3	96.7	61	2,90	320	61	1,95	-0,3	3,09	0,1494	1,52	2,58	76,7	96,7	ne	ne	
23	2	11	-0.4	96.8	78	2,90	310	78	2,28	-0,4	3,62	0,1472	1,93	3,19	73,4	96,8	ne	ne	
23	2	12	-0.4	89.8	481	5,90	310	481	6,74	-0,4	12,04	0,3141	12,38	17,22	38,2	89,8	ne	ne	
23	2	13	-0.8	93.1	555	7,90	320	555	5,54	-0,8	10,65	0,4348	13,95	18,4	41,9	93,1	ne	ne	
23	2	14	-1.3	85.7	221	5,90	320	221	2,47	-1,3	5,2	0,3216	5,29	7,33	53,7	85,7	ne	ne	
23	2	15	-1.6	87	409	7,90	320	409	3,17	-1,6	7,02	0,4367	9,27	12,62	46,8	87	ne	ne	
23	2	16	-2.4	84.3	280	5,90	290	280	2,27	-2,4	5,65	0,3196	5,95	8,48	46,8	84,3	ne	ne	
23	2	17	-3.2	81.3	37	4,90	290	37	-0,83	-3,2	0,77	0,2666	-0,12	1,13	81,3	81,3	ne	ne	
23	2	18	-4.5	81.8	0	4,90	280	-28,2	-4,3	-4,5	-4,16	0,2728	-5,34	-5,23	81,8	59,7	ne	ne	

23	2	19	-3,5	78,7	0	5,90	300	-28,2	-3,34	-3,5	-3,23	0,3295	-4,34	-4,26	77,7	78,7	ne	ne
23	2	20	-6,4	77,8	0	3,90	280	-28,2	-6,11	-6,4	-5,92	0,2158	-7,24	-7,09	76,3	77,8	ne	ne
23	2	21	-5,3	87,2	0	3,90	290	-28,2	-5,04	-5,3	-4,88	0,216	-6,14	-6,01	85,5	87,2	ne	ne
23	2	22	-5,6	86,8	0	2,90	270	-28,2	-5,28	-5,6	-5,11	0,1589	-6,44	-6,29	85,2	86,8	ne	ne
23	2	23	-4,6	93	0	1,90	310	-28,2	-5,28	-5,6	-5,11	0,1589	-6,44	-6,29	85,2	86,8	ne	ne
															29,16%	50%	29,16%	4,16%

Tab. 16 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti – 23. únor – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 98,3 % (ve vyznačených položkách) v 8.00 a 9.00 hodin
- **Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 77,8 % (ve vyznačené položce) ve 20.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 17 až 555 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 555 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +6,74 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, min. -6,11 °C ve 20.00 hodin (ve vyznačené položce).
- **Minimální teplota v mezeře:** -6,11 °C ve 20.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +6,74 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -0,4 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 7,14 °C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -7,24 °C ve 20.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -6,4 °C a průměrné teplotě v mezeře -6,11 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +17,22 °C ve 12.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -0,4 °C a průměrné teplotě v mezeře +6,74 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 17,62 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0141 m/s v 5.00 hodin (ve vyznačené položce) v době oslunění fasády, za bezvětří.
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,4367 m/s v 15.00 hodin (ve vyznačené položce) v období oslunění fasády, rychlosti větru 7,9 m/s (závětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 5.00 hodin dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 30,97 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 38,2 % (ve vyznačené položce) ve 12.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -0,4 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 89,8 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +6,74 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 51,6 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 100 % (ve vyznačené položce) v 5.00 hodin, při vnější teplotě -0,8 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 96,6 %, mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -0,55 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

**- Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází ve 29,16 % denní doby v celé délce větrané mezery a v 50 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy téměř po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 29,16 % denní doby

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře dochází ve 4,16 % denní doby

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 9.**

**D.1.10/ Mrazivý zatažený den – 25. prosince – jižní fasáda**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje pouze položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svíslé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o zatažený zimní den s teplotami pod bodem mrazu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 17:

MRAZIVÝ ZATAŽENÝ DEN - 25. PROSINEC - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočítá svíslá slh	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
25	12	0	-10.8	75	0	3.90	220	-28.2	-10.38	-10.8	-10.11	0.219	-11.64	-11.43	72.9	75	ne	ne
25	12	1	-11	75	0	3.90	210	-28.2	-10.57	-11	-10.3	0.219	-11.84	-11.62	72.8	75	ne	ne
25	12	2	-11.7	81.8	0	1.90	180	-28.2	-11.05	-11.7	-10.78	0.109	-12.54	-12.25	79.1	81.8	ne	ne
25	12	3	-11.5	78.3	0	2.90	210	-28.2	-10.97	-11.5	-10.69	0.1635	-12.34	-12.09	75.9	78.3	ne	ne
25	12	4	-10	76.9	0	4.90	200	-28.2	-9.66	-10	-9.42	0.2748	-10.84	-10.66	74.8	76.9	ne	ne
25	12	5	-8.6	79.3	0	4.90	210	-28.2	-8.29	-8.6	-8.08	0.2747	-9.44	-9.28	77.3	79.3	ne	ne
25	12	6	-7.3	69.7	0	3.90	210	-28.2	-6.98	-7.3	-6.78	0.2185	-8.14	-7.98	68.4	69.7	ne	ne
25	12	7	-6.9	70.6	0	2.90	180	-28.2	-6.53	-6.9	-6.34	0.1626	-7.74	-7.56	69.3	70.6	ne	ne

25	12	8	-6.8	70.6	0	2.90	180	-28.2	-6.44	-6.8	-6.24	0.1626	-7.64	-7.47	69.3	70.6	ne	ne
25	12	9	-6.6	74.3	8	1.90	180	8	-5.22	-6.6	-4.63	0.1143	-6.36	-5.74	65.5	74.3	ne	ne
25	12	10	-4.8	65.1	33	2.90	200	33	-3.17	-4.8	-2.27	0.1694	-3.82	-3.02	54.1	65.1	ne	ne
25	12	11	-3.8	58.7	52	2.90	210	52	-1.8	-3.8	-0.69	0.1714	-2.25	-1.27	46.6	58.7	ne	ne
25	12	12	-3.1	57.1	63	3.90	200	63	-1.21	-3.1	0.01	0.2255	-1.22	-0.25	45.1	57.1	ne	ne
25	12	13	-2.8	62	63	2.90	210	63	-0.59	-2.8	0.63	0.1724	-0.92	0.16	48.1	62	ne	ne
25	12	14	-2.3	57.7	53	3.90	220	53	-0.61	-2.3	0.45	0.2245	-0.72	0.14	47.1	57.7	ne	ne
25	12	15	-1.7	55.6	34	3.90	220	34	-0.38	-1.7	0.45	0.2229	-0.69	-0.01	47.7	55.6	ne	ne
25	12	16	-2	54.7	8	3.90	230	8	-1.16	-2	-0.63	0.2208	-1.76	-1.33	49.8	54.7	ne	ne
25	12	17	-2.3	57.7	0	1.90	200	-28.2	-2.06	-2.3	-1.96	0.1059	-3.14	-3.03	57.4	58.4	ne	ne
25	12	18	-1.4	56.4	0	6.90	230	-28.2	-1.31	-1.4	-1.23	0.3866	-2.24	-2.19	56.2	56.4	ne	ne
25	12	19	-0.7	48.3	0	6.90	240	-28.2	-0.62	-0.7	-0.56	0.3866	-1.54	-1.5	48.3	48.3	ne	ne
25	12	20	-0.4	52.5	0	8.90	240	-28.2	-0.34	-0.4	-0.29	0.4994	-1.24	-1.21	52.4	52.5	ne	ne
25	12	21	-0.4	71.2	0	8.90	230	-28.2	-0.34	-0.4	-0.29	0.4994	-1.24	-1.21	71	71.2	ne	ne
25	12	22	-0.5	71.2	0	8.90	220	-28.2	-0.44	-0.5	-0.39	0.4994	-1.34	-1.31	70.9	71.2	ne	ne
25	12	23	-1.3	80.4	0	7.90	230	-28.2	-1.22	-1.3	-1.15	0.443	-2.14	-2.09	79.9	80.4	ne	ne

Tab. 17 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý zatažený den – 25. prosinec – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 81,8 % (ve vyznačené položce) ve 2.00 hodiny
- **Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 48,3 % (ve vyznačené položce) v 19.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 8 až 63 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 63 W/m<sup>2</sup> ve 12.00 a 13.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. -0,34 °C ve 20.00 a 21.00 hodin (ve vyznačených položkách), mimo dobu oslunění fasády, min. -11,05 °C ve 2.00 hodiny (ve vyznačené položce).
- **Minimální teplota v mezeře:** -11,7 °C ve 2.00 hodiny (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +0,63 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -2,8 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 2,17°C
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -12,54 °C ve 2.00 hodiny (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -11,7 °C a průměrné teplotě v mezeře -11,05 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +0,16 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -2,18 °C a průměrné teplotě v mezeře -0,59 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = 2,02 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,1059 m/s v 17.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády, při rychlosti větru 1,9 m/s (návětrná strana).

- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,4994 m/s ve 20.00, 21.00 a 22.00 hodin (ve vyznačených položkách) mimo dobu oslunění fasády, při rychlosti větru 8,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 17.00 hodin dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 4,71 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 45,1 % (ve vyznačené položce) ve 12.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -3,1 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 57,1 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -1,21 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 12 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 81,8 % (ve vyznačené položce) ve 2.00 hodiny při vnější teplotě -11,7 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 81,8 %, mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -11,05 °C. Vlhkost v mezeře se rovná vlhkosti vnějšího vzduchu (s největší pravděpodobností v místě vstupního otvoru napojení mezery na vnější prostředí).

**- Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % nedochází

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády nedochází

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje:** Příloha 10.

**D.1.11/ Mrazivý jasný den – 25. února – jižní fasáda**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a dominantní složku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o jasný zimní den s teplotami pod bodem mrazu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 18:

MRAZIVÝ JASNÝ DEN - 25.ÚNOR - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočat svislá plocha	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obilna NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
25	2	0	-9,9	88,5	0	0,00	0	-28,2	-9,12	-9,9	-9,04	0,0284	-10,74	-10,47	88,5	97,9	ano	ne
25	2	1	-12,2	90,5	0	0,00	0	-28,2	-11,29	-12,2	-11,19	0,0311	-13,04	-12,72	88	100	ano	ano
25	2	2	-13,7	89,5	0	1,90	250	-28,2	-12,97	-13,7	-12,66	0,1097	-14,54	-14,22	86	89,5	ano	ne
25	2	3	-13,7	89,5	0	1,90	270	-28,2	-12,97	-13,7	-12,66	0,1097	-14,54	-14,22	86	89,5	ano	ne
25	2	4	-13,4	94,7	0	1,90	240	-28,2	-12,68	-13,4	-12,38	0,1096	-14,24	-13,92	90,9	94,7	ano	ne
25	2	5	-13,4	94,7	0	2,90	230	-28,2	-12,81	-13,4	-12,48	0,1639	-14,24	-13,95	90,9	94,7	ano	ne
25	2	6	-13,2	94,7	0	1,90	230	-28,2	-12,49	-13,2	-12,19	0,1095	-14,04	-13,73	90,9	94,7	ano	ne
25	2	7	-11,7	90,9	0	1,90	230	-28,2	-11,05	-11,7	-10,78	0,109	-12,54	-12,25	87,6	90,9	ano	ne
25	2	8	-9,9	88,5	64	1,90	210	64	-7,02	-9,9	-5,7	0,125	-7,99	-6,67	64,2	88,5	ne	ne
25	2	9	-6,6	77,1	486	1,90	190	486	4,81	-6,6	11,23	0,1751	-7,9	13,49	21,1	77,1	ne	ne
25	2	10	-4,7	69,8	658	0,90	160	658	10,01	-4,7	18,47	0,1644	12,79	21,79	14,2	69,8	ne	ne
25	2	11	-4,7	72,1	779	0,00	0	779	12,32	-4,7	22,22	0,1681	16	26,47	11,7	72,1	ne	ne
25	2	12	-3,2	58,7	665	0,90	90	665	11,13	-3,2	19,65	0,1647	13,97	23,05	12,1	58,7	ne	ne
25	2	13	-2,3	44,2	594	0,90	120	594	11,37	-2,3	19,01	0,1577	13,49	21,77	10,7	44,2	ne	ne
25	2	14	-2,2	44,2	541	1,90	110	541	9,53	-2,2	16,49	0,1768	12,18	19,44	12,6	44,2	ne	ne
25	2	15	-2,4	64,7	109	1,90	50	109	1,3	-2,4	3,01	0,1297	0,85	2,55	44,1	64,7	ne	ne
25	2	16	-3,2	79,2	46	1,90	100	46	-0,59	-3,2	0,17	0,0766	-1,83	-0,77	62,6	79,2	ne	ne
25	2	17	-3,7	78,3	18	0,90	90	18	-1,73	-3,7	-1,38	0,0479	-3,16	-2,43	69,3	78,3	ne	ne
25	2	18	-4,3	84,1	0	0,00	0	-28,2	-3,89	-4,3	-3,81	0,0529	-5,14	-4,99	82,8	85,9	ne	ne
25	2	19	-4,8	81,4	0	0,90	340	-28,2	-4,37	-4,8	-4,28	0,0532	-5,64	-5,48	80,1	83,3	ne	ne
25	2	20	-5,8	81,6	0	0,90	260	-28,2	-5,31	-5,8	-5,21	0,0539	-6,64	-6,46	80	83,5	ne	ne
25	2	21	-5,1	90	0	0,00	0	-28,2	-4,59	-5,1	-4,56	0,0218	-5,94	-5,77	88,3	99,2	ano	ne
25	2	22	-4,4	77,3	0	1,90	170	-28,2	-4,06	-4,4	-3,93	0,1066	-5,24	-5,09	76,2	77,3	ne	ne
25	2	23	-4,6	72,1	0	2,90	180	-28,2	-4,32	-4,6	-4,16	0,1621	-5,44	-5,3	71,3	72,1	ne	ne
															12,50%	29,16%	29,16%	4,16%

Tab. 18 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý jasný den – 25. únor – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 94,7 % (ve vyznačených položkách) ve 4.00, 5.00 a 6.00 hodin
- **Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 44,2 % (ve vyznačených položkách) ve 13.00 a 14.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 18 až 779 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 779 W/m<sup>2</sup> v 11.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +12,32 °C v 11.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, min. -12,97 °C ve 2.00 a 3.00 hodiny, mimo dobu oslunění fasády (ve vyznačených položkách).
- **Minimální teplota v mezeře:** -13,7 °C ve 2.00 a 3.00 hodiny (ve vyznačených položkách), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +22,22 °C v 11.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při největší teplotě -4,7 °C. Δt (rozdíl mezi vnější teplotou

a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 26,92°C.

- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -14,54 °C ve 2.00 a 3.00 hodiny (ve vyznačených položkách) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -13,7 °C a průměrné teplotě v mezeře - 12,97 °C

- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +26,47 °C v 11.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -4,7 °C a průměrné teplotě v mezeře +12,32 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = neuvěřitelných 31,17 °C

- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0218 m/s ve 21.00 hodin (ve vyznačené položce) v době oslunění fasády, za bezvětrí.

- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,1768 m/s ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce) v období oslunění fasády, rychlosti větru 1,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 5.00 hodin dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 8,11 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 10,7 % (ve vyznačené položce) ve 13.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -2,3 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 44,2 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +11,37 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 33,5 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 100 % (ve vyznačené položce) v 1.00 hodin při vnější teplotě -12,2 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 90,5 %, mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -11,29 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

- **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází ve 12,5 % denní doby v celé délce větrané mezery a ve 29,16 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy téměř po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 29,16 % denní doby

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře dochází ve 4,16 % denní doby.



Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 11.

### D.1.12/ Mrazivý jasný den – 24. prosince – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a dominantní složku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o krásný jasný zimní den s teplotami pod bodem mrazu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 19:

MRAZIVÝ JASNÝ DEN - 24. PROSINEC - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočít svislá jH	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x oblož. MOC	Prům. teplota v mezere	Min. teplota v mezere	Max. teplota v mezere	Prům. rychlost proudění v mezere	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezere	Max. vlhkost vzduchu v mezere	Kondenzace na vnitřím líci obkladu	Kondenzace v mezere
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
24	12	0	-10.9	87.5	0	3,90	180	-28,2	-10,48	-10,9	-10,21	0,219	-11,74	-11,52	84,6	87,5	ne	ne
24	12	1	-11.7	90.9	0	3,90	200	-28,2	-11,25	-11,7	-10,97	0,2191	-12,54	-12,31	87,6	90,9	ne	ne
24	12	2	-12	86.4	0	2,90	240	-28,2	-11,46	-12	-11,16	0,1636	-12,84	-12,58	86,4	83,5	ne	ne
24	12	3	-11	87.5	0	3,90	180	-28,2	-10,57	-11	-10,3	0,219	-11,84	-11,62	85,1	87,5	ne	ne
24	12	4	-11.8	90.9	0	4,90	190	-28,2	-11,41	-11,8	-11,14	0,275	-12,64	-12,44	87,7	90,9	ne	ne
24	12	5	-12.2	90.5	0	2,90	220	-28,2	-11,65	-12,2	-11,35	0,1637	-13,04	-12,77	87,2	90,5	ne	ne
24	12	6	-12	86.4	0	3,90	200	-28,2	-11,54	-12	-11,25	0,2191	-12,84	-12,61	83,4	86,4	ne	ne
24	12	7	-11.4	82.6	0	4,90	180	-28,2	-11,02	-11,4	-10,76	0,275	-12,24	-12,04	80	82,6	ne	ne
24	12	8	-11.3	87	0	3,90	180	-28,2	-10,86	-11,3	-10,59	0,219	-12,14	-11,92	84,1	87	ne	ne
24	12	9	-11.9	81.8	45	2,90	190	45	-9,81	-11,9	-8,62	0,1723	-10,56	-9,53	63,8	81,8	ne	ne
24	12	10	-10.3	80	553	0,90	190	553	3,3	-10,3	10,6	0,1584	6,2	12,76	16,8	80	ne	ne
24	12	11	-7.5	71.9	704	1,90	160	704	6,82	-7,5	15,73	0,1913	11,21	20,24	13,7	71,9	ne	ne
24	12	12	-6.6	68.6	781	1,90	160	781	8,9	-6,6	18,67	0,1968	14,16	23,98	11,8	68,6	ne	ne
24	12	13	-5.9	67.6	783	1,90	160	783	9,64	-5,9	19,42	0,1967	14,91	24,75	11,8	67,6	ne	ne
24	12	14	-4.9	66.7	708	0,90	170	708	10,62	-4,9	19,66	0,1688	13,92	23,46	12,5	66,7	ne	ne
24	12	15	-5.4	69.2	559	1,90	140	559	6,62	-5,4	13,85	0,1792	9,46	16,94	17,7	69,2	ne	ne
24	12	16	-6.4	66.7	48	1,90	170	48	-4,02	-6,4	-2,97	0,1212	-4,97	-3,89	52,1	66,7	ne	ne
24	12	17	-7.7	71.9	0	2,90	160	-28,2	-7,31	-7,7	-7,09	0,1627	-8,54	-8,35	70,4	71,9	ne	ne
24	12	18	-10.1	80.8	0	0,00	0	-28,2	-9,31	-10,1	-9,23	0,0286	-10,94	-10,67	78,6	91,9	ano	ne
24	12	19	-10	84.6	0	1,90	180	-28,2	-9,42	-10	-9,19	0,1085	-10,84	-10,59	82	84,6	ne	ne
24	12	20	-9.6	74.1	0	2,90	170	-28,2	-9,14	-9,6	-8,89	0,1631	-10,44	-10,22	72,2	74,1	ne	ne
24	12	21	-11.8	72.7	0	2,90	200	-28,2	-11,26	-11,8	-10,97	0,1636	-12,64	-12,38	70,6	72,7	ne	ne
24	12	22	-10.1	80.8	0	3,90	190	-28,2	-9,7	-10,1	-9,44	0,2189	-10,94	-10,74	78,4	80,8	ne	ne
24	12	23	-10.3	80	0	3,90	200	-28,2	-9,89	-10,3	-9,64	0,2189	-11,14	-10,93	77,6	80	ne	ne
															16,67%	4,16%		

Tab. 19 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý jasný den – 24. prosinec – jižní fasáda.

#### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu: 90,9 % (ve vyznačené položce) ve 4.00 hodiny
- Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu: 66,7 % (ve vyznačených položkách) ve 14.00 a 16.00 hodin

- **Globální sluneční záření:** 45 až 783 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 783 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +10,62 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, min. -11,65 °C v 5.00 hodin, mimo dobu oslunění fasády (ve vyznačených položkách).
- **Minimální teplota v mezeře:** -12,2 °C v 5.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +19,66 °C ve 14.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -4,9 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 24,56°C.
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -13,04 °C v 5.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -12,2 °C a průměrné teplotě v mezeře -11,65 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +24,75 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -4,9 °C a průměrné teplotě v mezeře +10,62 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = neuvěřitelných 29,65 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,1085 m/s v 19.00 hodin (ve vyznačené položce) v době oslunění fasády, při rychlosti větru 1,9 m/s (návětrná strana).
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,275 m/s ve 4.00 a 7.00 hodin (ve vyznačených položkách) v období mimo oslunění fasády, rychlosti větru 4,9 m/s (návětrná strana). Směrem k minimální hodnotě rychlosti proudění v 5.00 hod dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 2,53 krát.
- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 11,8 % (ve vyznačených položkách) ve 12.00 a 13.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -6,6 a -5,9 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 68,6 a 67,6 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +8,9 a +9,64 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 56,8 %.
- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 91,9 % (ve vyznačené položce) v 18.00 hodin při vnější teplotě -10,1 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 80,8 %, mimo dobu oslunění

fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -9,31 °C. V mezeře dochází ke zvýšení vlhkosti.

#### - Hodnocení kondenzace:

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90\%$  dochází v 16,67 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy téměř po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 4,16 % denní doby

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře nedochází.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 12.**

#### D.1.13/ Mrazivý jasný den – 15. ledna – jižní fasáda

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svíslé plochy fasády a dominantní složku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svíslé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o krásný jasný zimní den s teplotami pod bodem mrazu. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v Tab. 20:

MRAZIVÝ JASNÝ DEN - 15. LEDNA - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočít svislá plocha	Rychlost větru	Směr větru	Teplota fasády x oblaha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
15	1	0	-7,5	90,6	0	1,80	70	-28,2	-7,01	-7,5	-6,83	0,0946	-8,34	-8,12	88,2	90,6	ano	ne
15	1	1	-8,6	86,2	0	1,80	40	-28,2	-8,06	-8,6	-7,86	0,0942	-9,44	-9,21	83,8	86,2	ne	ne
15	1	2	-7,6	87,5	0	3,80	70	-28,2	-7,26	-7,6	-7,06	0,21	-8,44	-8,27	85,3	87,5	ne	ne
15	1	3	-8,1	90,3	0	2,80	70	-28,2	-7,68	-8,1	-7,46	0,1526	-8,94	-8,74	87,9	90,3	ne	ne
15	1	4	-8,9	96,6	0	2,80	40	-28,2	-8,45	-8,9	-8,21	0,1525	-9,74	-9,53	93,6	96,6	ano	ne
15	1	5	-9,5	96,3	0	1,80	20	-28,2	-8,91	-9,5	-8,7	0,0938	-10,34	-10,09	93,2	96,3	ano	ne
15	1	6	-9,6	100	0	1,80	20	-28,2	-9,01	-9,6	-8,79	0,0938	-10,44	-10,19	96,6	100	ano	ne
15	1	7	-9,5	96,3	0	1,80	40	-28,2	-8,91	-9,5	-8,7	0,0938	-10,34	-10,09	96,3	94,4	ano	ne
15	1	8	-9,3	85,7	0	0,80	50	-28,2	-8,56	-9,3	-8,48	0,0299	-10,14	-9,88	83,3	94,1	ano	ne
15	1	9	-9,1	100	64	0,80	50	64	-5,33	-9,1	-4,56	0,0526	-7,19	-5,77	71,9	100	ano	ano
15	1	10	-5,8	76,3	611	3,80	80	611	8,58	-5,8	16,5	0,1516	10,44	19,11	16	76,3	ne	ne
15	1	11	-3,9	65,2	739	3,80	90	739	14,35	-3,9	23,7	0,135	15,74	26,47	10,5	65,2	ne	ne
15	1	12	-2,4	56,9	800	5,80	80	800	9,61	-2,4	18,38	0,2967	18,86	26,94	13,9	56,9	ne	ne
15	1	13	-1,1	51,8	792	5,80	100	792	10,79	-1,1	19,46	0,2971	19,95	27,94	13,2	51,8	ne	ne
15	1	14	-1	49,1	712	5,80	80	712	9,67	-1	17,48	0,2999	17,92	25,11	14,2	49,1	ne	ne
15	1	15	-1,1	50	559	5,80	70	559	7,29	-1,1	13,46	0,3051	13,76	19,42	18,5	50	ne	ne
15	1	16	-2,1	59,6	161	3,80	80	161	1,93	-2,1	4,31	0,1959	2,7	4,72	37,7	59,6	ne	ne
15	1	17	-3,5	66	0	4,80	90	-28,2	-3,32	-3,5	-3,2	0,2672	-4,34	-4,25	65,4	66	ne	ne

15	1	18	-3,3	70,8	0	4,80	80	-28,2	-3,13	-3,3	-3,01	0,2672	-4,14	-4,05	70,1	70,8	ne	ne
15	1	19	-3,9	82,6	0	3,80	90	-28,2	-3,68	-3,9	-3,54	0,2104	-4,74	-4,63	81,4	82,6	ne	ne
15	1	20	-4,8	81,4	0	3,80	90	-28,2	-4,55	-4,8	-4,4	0,2103	-4,8	-4,4	80,1	81,4	ne	ne
15	1	21	-4,8	81,4	0	3,80	100	-28,2	-4,55	-4,8	-4,4	0,2125	-5,64	-5,51	80	81,4	ne	ne
15	1	22	-5,6	89,5	0	3,80	90	-28,2	-5,33	-5,6	-5,16	0,2126	-6,44	-6,3	87,6	89,5	ne	ne
15	1	23	-5,1	87,5	0	5,80	220	-28,2	-4,91	-5,1	-4,77	0,3249	-5,94	-5,84	86	87,5	ne	ne
															16,66%	33,33%	29,16%	4,16%

Tab. 20 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý jasný den – 15. leden – jižní fasáda.

### Komentář k vybraným klimatickým datům a vypočteným hodnotám:

- **Max. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 100 % (ve vyznačených položkách) v 6.00 a 9.00 hodin
- **Min. relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 49,1 % (ve vyznačené položce) ve 14.00 hodin
- **Globální sluneční záření:** 64 až 800 W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 800 W/m<sup>2</sup> ve 12.00 hodin
- **Průměrná teplota v mezeře:** max. +14,35 °C v 11.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, min. -9,01 °C v 6.00 hodin, mimo dobu oslunění fasády (ve vyznačených položkách).
- **Minimální teplota v mezeře:** -9,6 °C v 6.00 hodin (ve vyznačené položce), mimo dobu oslunění fasády
- **Maximální teplota v mezeře:** +19,46 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce), v době maximální dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -1,1 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a průměrnou teplotou v mezeře v době dosažení maximální průměrné teploty v mezeře) = 20,56°C.
- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu:** -10,44 °C v 6.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády při vnější teplotě -9,6 °C a průměrné teplotě v mezeře -9,01 °C
- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu:** +27,94 °C ve 13.00 hodin (ve vyznačené položce) v době nejvyšší dotace sluneční radiace při vnější teplotě -1,1 °C a průměrné teplotě v mezeře +10,79 °C.  $\Delta t$  (rozdíl mezi vnější teplotou a maximální teplotou vnitřního líce obkladu) = neuvěřitelných 29,04 °C
- **Minimální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,0299 m/s v 8.00 hodin (ve vyznačené položce) mimo dobu oslunění fasády, při rychlosti větru 0,8 m/s (návětrná strana).
- **Maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře:** 0,3249 m/s ve 23.00 hodin (ve vyznačené položce) v období mimo oslunění fasády, rychlosti větru 5,8 m/s (návětrná strana). Směrem

k minimální hodnotě rychlosti proudění v 8.00 hodin dochází ke zvýšení rychlosti proudění vzduchu v mezeře 10,87 krát.

- **Minimální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 10,5 % (ve vyznačených položkách) v 11.00 hodin v době největší dotace sluneční radiace, při vnější teplotě -3,9 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 65,2 %, průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře +14,35 °C. V mezeře dochází k vysušení vzduchu do ní vstupujícího až o 54,7 %.

- **Maximální vlhkost proudícího vzduchu v mezeře:** 100 % (ve vyznačených položkách) v 6.00 a 9.00 hodin při vnější teplotě -9,6 a -9,1 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 100 %, mimo dobu oslunění fasády a průměrné teplotě proudícího vzduchu v mezeře -9,01 a -5,33 °C.

- **Hodnocení kondenzace:**

- k překročení normového požadavku dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2 Požadavky na prověření průběhu relativní vlhkosti vzduchu proudícího v mezeře  $\varphi_{cv} < 90$  % dochází v 16,66 % denní doby v celé délce větrané mezery a ve 33,33 % denní doby v maximálních hodnotách dosažené relativní vlhkosti proudícího vzduchu, tedy téměř po větší část dne

- k výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády dochází ve 29,16 % denní doby

- k výskytu kondenzace vzduchu proudícího v mezeře dochází ve 4,16 % denní doby.

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje:** Příloha 13.

#### **D.1.14/ Mrazivý jasný den – 15. ledna – dopočet východní a západní fasády**

Z hlediska charakteristiky se jedná o den, ve kterém po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku difúzního slunečního záření v řádech desítek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a dominantní složku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu se po většinu dne pohybuje pod hodnotu 90 %. Jedná se o jasný zimní den s teplotami pod bodem mrazu.

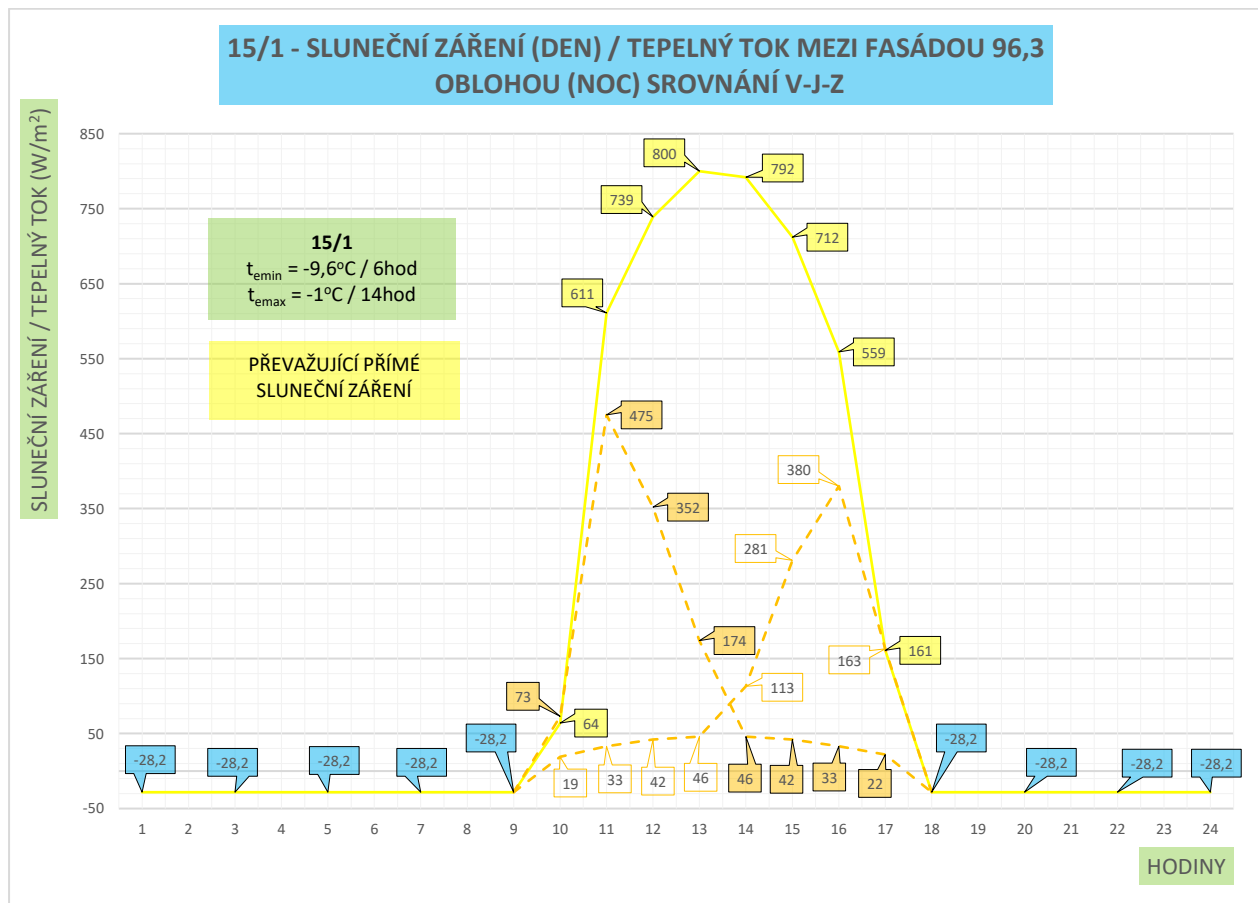
Pro účely analýzy poměrů v provětrávané mezeře východní a západní fasády byl ve vybraných hodinách (v návaznosti na průběh oslunění východní a západní fasády) proveden dopočet parametrů v provětrávané mezeře, směřovaný ke zjištění, zda lze prostředí východní a západní fasády vzhledem ke své orientaci ke světovým stranám považovat za výrazně jiné než prostředí jižní fasády, přičemž zkoumány byly parametry totožné jako u fasády jižní.

**a/ Pro východní fasádu** byl proveden dopočet od 9.00 hodin (od okamžiku první kladné hodnoty oslunění fasády) do 19.00 hodin (do 3 hodin po poslední kladné hodnotě oslunění fasády).

**b/ Pro západní fasádu** byl proveden dopočet od 9.00 hodin (od okamžiku první kladné hodnoty oslunění fasády) do 20.00 hodin (do 4 hodin po poslední kladné hodnotě oslunění fasády).

#### D.1.14.1/ Sluneční záření (den) a tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

Průběh oslunění fasád (den) a tepelného toku mezi fasádami a oblohou (noc) je znázorněn na níže uvedeném grafu Obr.30. Pro jižní fasádu je zde znázorněn průběh pro celý den (žlutá křivka plnou čarou), pro východní fasádu od 9.00 do 18.00 hodin (okrová křivka čárkovanou čarou s okrovými popiskami) a pro západní fasádu od 9.00 do 18.00 hodin (okrová křivka čárkovanou čarou s popiskami lemovanými okrovou čarou).



Obr. 30 - Graf znázorňující vzájemný vztah oslunění a tepelného toku mezi fasádou a oblohou pro jižní, východní a západní fasádu – mrazivý jasný den – 15. leden – dopočet východní a západní fasády

## **Zhodnocení průběhu oslunění a tepelného toku V – J – Z fasády:**

### **1/ Jižní fasáda:**

- jde o průběh převzatý z kapitoly **E.1.13/ Mrazivý jasný den – 15. ledna – jižní fasáda** – viz. výše, uvedený v Příloze 13 ve vztahu k ostatním hodnoceným veličinám
- k oslunění fasády dochází od 9.00 hodin v hodnotě  $64 \text{ W/m}^2$ , která odpovídá difúznímu záření krátce po východu Slunce.
- V následujících hodinách se uplatňuje přímé sluneční záření (jedná se o jasný den), které dosahuje svého maxima ve 12.00 hodin hodnotou  $800 \text{ W/m}^2$  a dále hodnoty postupně klesají až ke  $161 \text{ W/m}^2$ , které je dosaženo v 16.00 hodin.
- Mimo dobu oslunění fasády se uplatňuje tepelný tok mezi fasádou a oblohou o průměrné hodnotě  $-28,2 \text{ W/m}^2$  dle popisu v kapitole D.1/ Výpočtový model, e/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou – viz. výše.

### **2/ Východní fasáda:**

- k oslunění fasády dochází od 9.00 hodin v hodnotě  $73 \text{ W/m}^2$ , která odpovídá difúznímu záření krátce po východu Slunce a je o  $9 \text{ W/m}^2$  vyšší než hodnota pro jižní fasádu
- v následujících hodinách se uplatňuje přímé sluneční záření (jedná se o jasný den), které dosahuje svého maxima již v 10.00 hodin hodnotou  $475 \text{ W/m}^2$ , tedy o 2 hodiny dříve než u jižní fasády a hodnotou o  $325 \text{ W/m}^2$  menší. Dále hodnoty postupně klesají až k  $22 \text{ W/m}^2$ , které je dosaženo v 16.00 hodin stejně jako u jižní fasády, ale hodnotou odpovídající difúznímu záření při západu Slunce.
- Mimo dobu oslunění fasády se uplatňuje tepelný tok mezi fasádou a oblohou o průměrné hodnotě  $-28,2 \text{ W/m}^2$  dle popisu v kapitole D.1/ Výpočtový model, e/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou – viz. výše.

### **3/ Západní fasáda:**

- k oslunění fasády dochází od 9.00 hodin v hodnotě  $19 \text{ W/m}^2$ , která odpovídá difúznímu záření krátce po východu Slunce a je o  $45 \text{ W/m}^2$  nižší než hodnota pro jižní fasádu a o  $54 \text{ W/m}^2$  nižší než hodnota pro fasádu východní
- v následujících hodinách se uplatňuje přímé sluneční záření (jedná se o jasný den), které dosahuje svého maxima odpoledne v 15.00 hodin hodnotou  $380 \text{ W/m}^2$ , tedy hodinu před koncem

oslunění fasády. Dále hodnoty postupně klesají až ke  $163 \text{ W/m}^2$ , které je dosaženo v 16.00 hodin stejně jako u jižní fasády, ale hodnotou odpovídající přímému záření při západu Slunce.

- Mimo dobu oslunění fasády se uplatňuje tepelný tok mezi fasádou a oblohou o průměrné hodnotě  $-28,2 \text{ W/m}^2$  dle popisu v kapitole D.1/ Výpočtový model, e/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou – viz. výše.

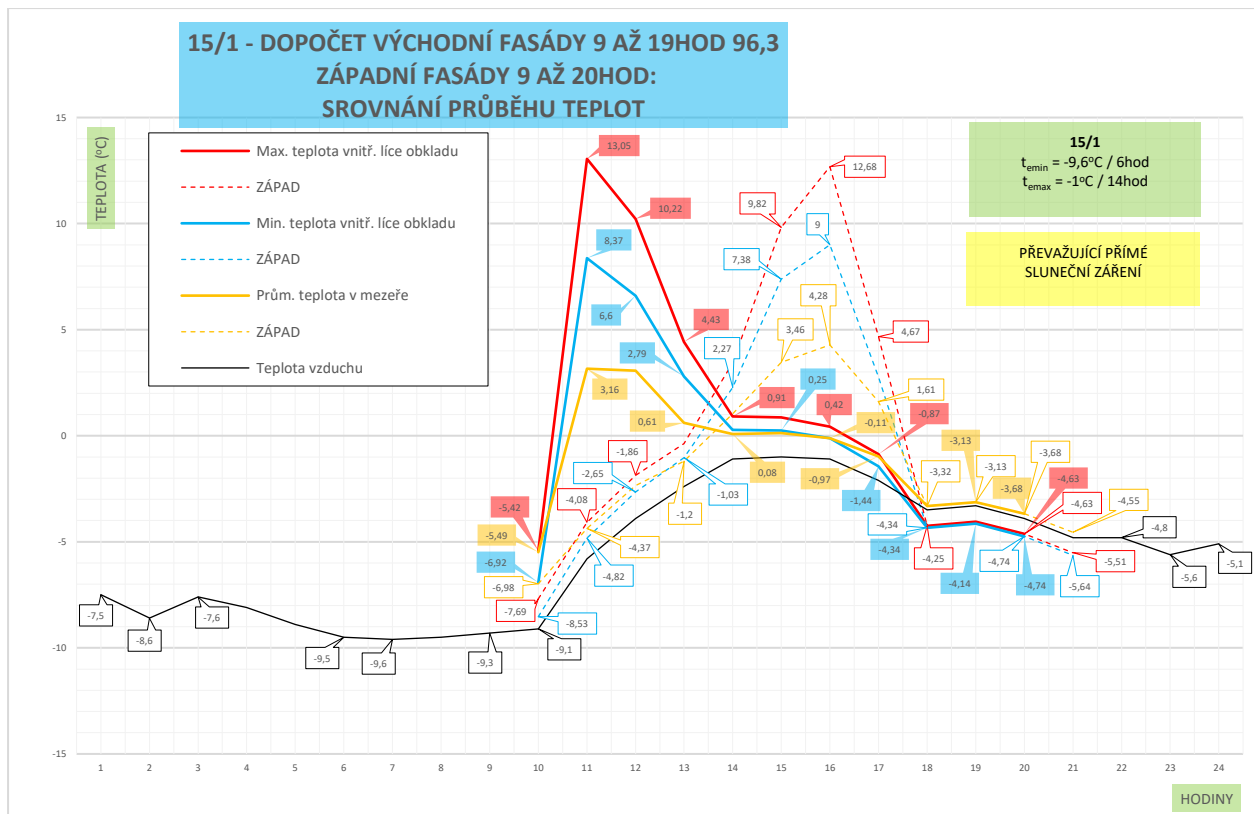
**Závěr:** z hlediska orientace jednotlivých fasád ke světovým stranám a denního chodu Slunce se jedná o průběh oslunění a hodnoty radiace, které ve svých absolutních hodnotách i diferencích výrazně nevybočují z hodnot očekávaných a hodnot hodnotících vliv oslunění pro jižní fasádu.

#### **D.1.14.2/ Teplotní pole**

Průběh vybraných hodnot teplotního pole východní a západní fasády je znázorněn na níže uvedeném grafu Obr. 31. Pro účel znázornění rozdílů mezi východní a západní fasádou byly vybrány tyto parametry:

- Průběh vnější teploty po celý den (černá křivka plnou čarou s popiskami lemovanými tenkou plnou černou čarou).
- Průběh průměrné teploty v provětrávané mezeře východní fasády od 9.00 do 19.00 hodin (okrová plná čára s okrovými popiskami).
- Průběh průměrné teploty v provětrávané mezeře západní fasády od 9.00 do 20.00 hodin (okrová čárkovaná čára s popiskami lemovanými okrovou čarou).
- Průběh minimální teploty na vnitřním líci obkladu východní fasády od 9.00 do 19.00 hodin (modrá plná čára s modrými popiskami).
- Průběh minimální teploty na vnitřním líci obkladu západní fasády od 9.00 do 20.00 hodin (modrá plná čára s popiskami lemovanými modrou čarou).
- Průběh maximální teploty na vnitřním líci obkladu východní fasády od 9.00 do 19.00 hodin (červená plná čára s červenými popiskami).
- Průběh maximální teploty na vnitřním líci obkladu západní fasády od 9.00 do 20.00 hodin (červená čárkovaná čára s popiskami lemovanými červenou).





Obr. 31 - Graf znázorňující průběh vybraných teplotních křivek teplotního pole pro jižní, východní a západní fasádu – mrazivý jasný den – 15. leden – dopočet východní a západní fasády

### Zhodnocení teplotního pole východní a západní fasády:

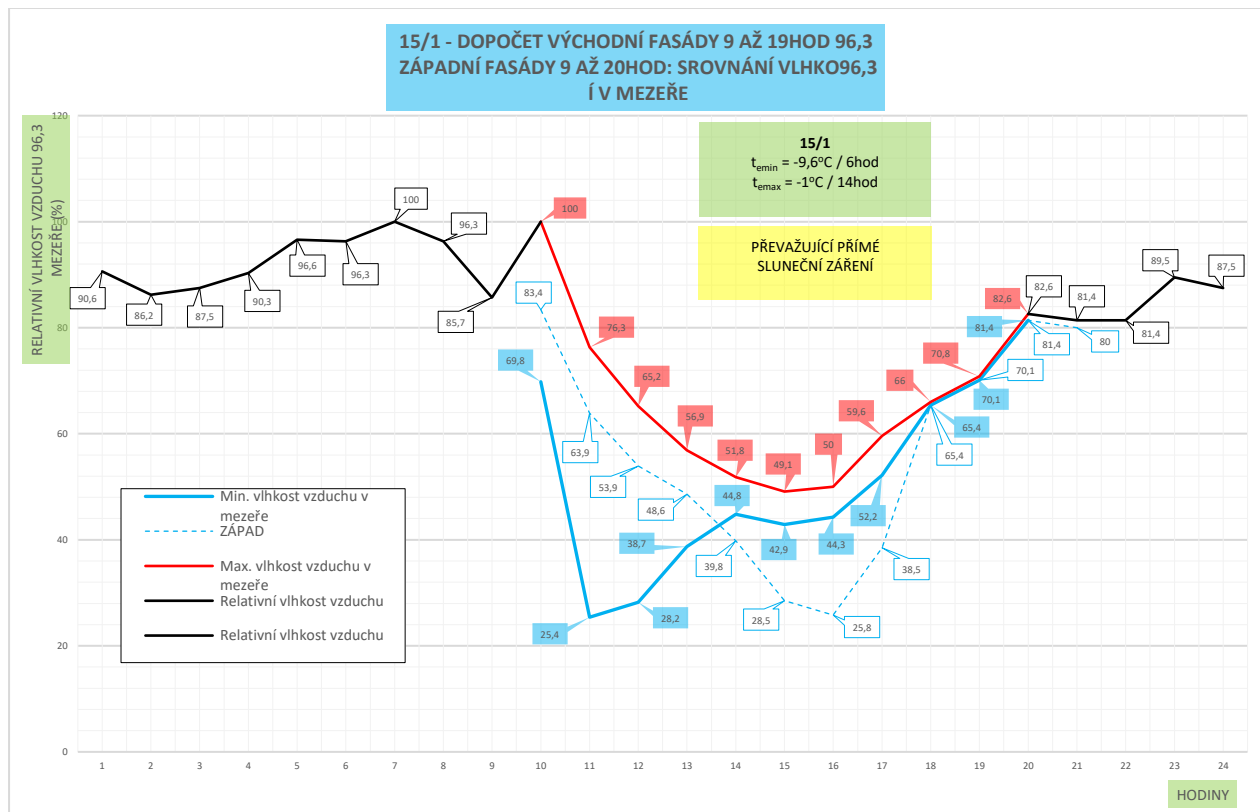
Průběh vybraných hodnot teplotního pole východní a západní fasády odpovídá dennímu chodu Slunce, tomu odpovídajícím hodnotám sluneční radiace  $\text{W}/\text{m}^2$  svislé plochy fasády obecně orientované vůči světovým stranám a dennímu průběhu venkovní teploty. Hodnoty západní fasády jsou v podstatě fázově posunuty oproti hodnotám dosaženým na fasádě východní.

**Závěr:** z hlediska orientace jednotlivých fasád ke světovým stranám, denního chodu Slunce a průběhu venkovní teploty se jedná o očekávaný průběh teplotního pole.

### D.1.14.3/ Vlhkostní pole

Průběh vybraných hodnot vlhkostního pole východní a západní fasády je znázorněn na níže uvedeném grafu Obr. 32. Pro účel znázornění rozdílů mezi východní a západní fasádou byly vybrány tyto parametry:

- Průběh relativní vlhkosti vnějšího prostředí pro období před a po době oslunění východní a západní fasády (černá křivka plnou čarou s popiskami lemovanými tenkou plnou černou čarou) – pro zasazení vlhkostního pole východní a západní fasády do kontextu denní doby.
- Minimální vlhkost v provětrávané mezeře východní fasády od 9.00 do 19.00 hodin (modrá plná čára s modrými popiskami).
- Minimální vlhkost v provětrávané mezeře západní fasády od 9.00 do 20.00 hodin (modrá čárkovaná čára s popiskami lemovanými modrou čarou).
- Maximální vlhkost v provětrávané mezeře fasád od 9.00 do 20.00 hodin (červená čára s červenými popiskami). Tato veličina není rozdělena na východní a západní fasádu. V podstatě se jedná o shodné hodnoty, korelující s průběhem relativní vlhkosti vnějšího prostředí (jeden z parametrů vzduchu vstupujícího do větrané mezery).



Obr. 32 – Graf znázorňující průběh vybraných hodnot vlhkostního pole pro východní a západní fasádu - mrazivý jasný den – 15. leden – dopočet východní a západní fasády

### **Zhodnocení vlhkostního pole východní a západní fasády:**

Průběh vybraných hodnot vlhkostního pole východní a západní fasády odpovídá dennímu chodu Slunce, tomu odpovídajícím hodnotám sluneční radiace  $W/m^2$  svislé plochy fasády obecně orientované vůči světovým stranám, dennímu průběhu venkovní teploty a relativní vlhkosti vnějšího prostředí. Hodnoty minimální vlhkosti v mezeře západní fasády jsou v podstatě fázově posunuty oproti hodnotám dosaženým na fasádě východní.

**Závěr:** z hlediska orientace jednotlivých fasád ke světovým stranám, denního chodu Slunce, průběhu venkovní teploty a relativní vlhkosti vnějšího prostředí se jedná o očekávaný průběh vlhkostního pole.

### **D.1.15/ Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda**

Pro analýzu dlouhodobějšího trendu poměrů v provětrávané mezeře výpočtového modelu obvodového pláště byly dále nahlíženy série několika po sobě jdoucích dnů podobné charakteristiky výpočtových stavů, nebo s trendem k měnícím se charakteristikám. První z takové série je série čtyř po sobě jdoucích jasných mrazivých lednových dnů 15/1 až 18/1.

Z hlediska charakteristiky se jedná o dny, ve kterých po celý den zůstává teplota hluboko pod  $0^{\circ}C$ , sluneční záření reprezentuje položku přímého slunečního záření ve svých maximech v řádech stovek  $W/m^2$  svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu dne se pohybuje okolo hodnoty 90 %, ale nezřídka se vyskytují i stavy se 100 % relativní vlhkostí vnějšího vzduchu. Jedná se o řadu zimních jasných mrazivých lednových dnů s inklinací ke zvýšené relativní vlhkosti vnějšího prostředí.

Z hlediska analýzy vypočtených dat již v tomto případě nebyly nahlíženy pouze hodnoty maximální a minimální, ale jejich kontext v porovnání jednotlivých dnů mezi sebou. Grafické zpracování vypočtených dat i v tomto případě obsahuje:

- **Průběh rychlosti proudění v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění rychlostního pole byly vyznačeny **a/** rychlosti proudění v běžných podmínkách, **b/** rychlosti proudění v období oslunění fasády, **c/** rychlosti proudění při překročení normové hodnoty 90 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **d/** rychlosti proudění při kondenzaci vodní páry na zadním líci obkladu fasády a **e/** rychlosti proudění při kondenzaci vodní páry v proudícím vzduchu uvnitř větrané mezery.

- **Průběh teplot v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění teplotního pole byly zpracovány **a/** vnější teplota, **b/** průměrná teplota v mezeře, **c/** maximální teplota v mezeře, **d/** minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády a **e/** maximální teplota vnitřního líce obkladu fasády.

- **Vlhkost vzduchu v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění průběhu relativní vlhkosti v provětrávané mezeře výpočtového modelu byly zpracovány **a/** křivka minimální relativní vlhkosti v provětrávané mezeře a **b/** křivka maximální relativní vlhkosti v provětrávané mezeře.

**U obou těchto křivek jsou vyznačeny:** **a/** hodnoty relativní vlhkosti v běžných normových podmínkách, **b/** hodnoty relativní vlhkosti při překročení normové indikativní hodnoty 90 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **c/** hodnoty relativní vlhkosti při oslunění fasády, **d/** hodnoty relativní vlhkosti při oslunění fasády a zároveň překračující normovou indikativní hodnotu 90% relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **e/** hodnoty relativní vlhkosti při výskytu kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády a **f/** hodnoty relativní vlhkosti při výskytu kondenzace v proudícím vzduchu v prostředí provětrávané mezery.

- **Průběh slunečního záření (den) / tepelného toku mezi fasádou a oblohou (noc):** sluneční záření a jeho hodnoty jsou uvedeny bez rozdílu mezi difúzním a přímým zářením, pro průběh oslunění fasády v sérii dnů jde spíše o rychlost nárůstu slunečního záření v průběhu dne. Tepelný tok mezi fasádou a oblohou je v souladu s kapitolou D.1/ Výpočtový model, odst. e/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou uvedena jednotně průměrnou hodnotou -28,2 W/m<sup>2</sup>.

Hodnoty výpočtových stavů a jejich výsledků v sérii lednových mrazivých dnů 15/1 až 18/1 jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 21), vyznačené hodnoty reprezentují maxima / minima vybraných kategorií.

LEDEN - SÉRIE MRAZIVÝCH JASNÝCH DNŮ - 15 AŽ 18/1																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočteno svažit. JH	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. líce obkladu	Max. teplota vnitř. líce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
15	1	0	-7,5	90,6	0	1,80	70	-28,2	-7,01	-7,5	-6,83	0,0946	-8,34	-8,12	88,2	90,6	ano	ne
15	1	1	-8,6	86,2	0	1,80	40	-28,2	-8,06	-8,6	-7,86	0,0942	-9,44	-9,21	83,8	86,2	ne	ne
15	1	2	-7,6	87,5	0	3,80	70	-28,2	-7,26	-7,6	-7,06	0,21	-8,44	-8,27	85,3	87,5	ne	ne
15	1	3	-8,1	90,3	0	2,80	70	-28,2	-7,68	-8,1	-7,46	0,1526	-8,94	-8,74	87,9	90,3	ne	ne
15	1	4	-8,9	96,6	0	2,80	40	-28,2	-8,45	-8,9	-8,21	0,1525	-9,74	-9,53	93,6	96,6	ano	ne
15	1	5	-9,5	96,3	0	1,80	20	-28,2	-8,91	-9,5	-8,7	0,0938	-10,34	-10,09	93,2	96,3	ano	ne
15	1	6	-9,6	100	0	1,80	20	-28,2	-9,01	-9,6	-8,79	0,0938	-10,44	-10,19	96,6	100	ano	ne
15	1	7	-9,5	96,3	0	1,80	40	-28,2	-8,91	-9,5	-8,7	0,0938	-10,34	-10,09	94,4	96,3	ano	ne
15	1	8	-9,3	85,7	0	0,80	50	-28,2	-8,56	-9,3	-8,48	0,0299	-10,14	-9,88	83,3	94,1	ano	ne
15	1	9	-9,1	100	64	0,80	50	64	-5,33	-9,1	-4,56	0,0526	-7,19	-5,77	71,9	100	ano	ano

15	1	10	-5,8	76,3	611	3,80	80	611	8,58	-5,8	16,5	0,1516	10,44	19,11	16	76,3	ne	ne
15	1	11	-3,9	65,2	739	3,80	90	739	14,35	-3,9	23,7	0,135	15,74	26,47	10,5	65,2	ne	ne
15	1	12	-2,4	56,9	800	5,80	80	800	9,61	-2,4	18,38	0,2967	18,86	26,94	13,9	56,9	ne	ne
15	1	13	-1,1	51,8	792	5,80	100	792	10,79	-1,1	19,46	0,2971	19,95	27,94	13,2	51,8	ne	ne
15	1	14	-1	49,1	712	5,80	80	712	9,67	-1	17,48	0,2999	17,92	25,11	14,2	49,1	ne	ne
15	1	15	-1,1	50	559	5,80	70	559	7,29	-1,1	13,46	0,3051	13,76	19,42	18,5	50	ne	ne
15	1	16	-2,1	59,6	161	3,80	80	161	1,93	-2,1	4,31	0,1959	2,7	4,72	37,7	59,6	ne	ne
15	1	17	-3,5	66	0	4,80	90	-28,2	-3,32	-3,5	-3,2	0,2672	-4,34	-4,25	65,4	66	ne	ne
15	1	18	-3,3	70,8	0	4,80	80	-28,2	-3,13	-3,3	-3,01	0,2672	-4,14	-4,05	70,1	70,8	ne	ne
15	1	19	-3,9	82,6	0	3,80	90	-28,2	-3,68	-3,9	-3,54	0,2104	-4,74	-4,63	81,4	82,6	ne	ne
15	1	20	-4,8	81,4	0	3,80	90	-28,2	-4,55	-4,8	-4,4	0,2103	-4,8	-4,4	80,1	81,4	ne	ne
15	1	21	-4,8	81,4	0	3,80	100	-28,2	-4,55	-4,8	-4,4	0,2125	-5,64	-5,51	80	81,4	ne	ne
15	1	22	-5,6	89,5	0	3,80	90	-28,2	-5,33	-5,6	-5,16	0,2126	-6,44	-6,3	87,6	89,5	ne	ne
15	1	23	-5,1	87,5	0	5,80	220	-28,2	-4,91	-5,1	-4,77	0,3249	-5,94	-5,84	86	87,5	ne	ne
16	1	0	-5,8	92,1	0	5,80	100	-28,2	-5,59	-5,8	-5,44	0,325	-6,64	-6,53	90,3	92,1	ne	ne
16	1	1	-6,2	94,4	0	4,80	100	-28,2	-5,95	-6,2	-5,78	0,2688	-7,04	-6,91	92,3	94,4	ano	ne
16	1	2	-6,1	91,9	0	4,80	110	-28,2	-5,85	-6,1	-5,68	0,2688	-6,94	-6,81	89,9	91,9	ne	ne
16	1	3	-7,1	91,2	0	3,80	110	-28,2	-6,78	-7,1	-6,58	0,2128	-7,94	-7,78	88,9	91,2	ne	ne
16	1	4	-6,9	97,1	0	3,80	100	-28,2	-6,59	-6,9	-6,39	0,2128	-7,74	-7,58	94,6	97,1	ano	ne
16	1	5	-7,3	93,9	0	4,80	110	-28,2	-7,02	-7,3	-6,83	0,2689	-8,14	-7,99	91,5	93,9	ano	ne
16	1	6	-7,7	93,8	0	3,80	110	-28,2	-7,36	-7,7	-7,15	0,2129	-8,54	-8,37	91,2	93,8	ano	ne
16	1	7	-7,3	100	0	3,80	100	-28,2	-6,98	-7,3	-6,77	0,2129	-8,14	-7,98	97,2	100	ano	ne
16	1	8	-7,7	100	0	3,80	110	-28,2	-7,36	-7,7	-7,15	0,2129	-8,54	-8,37	97,1	100	ano	ano
16	1	9	-6,3	86,1	42	4,80	110	42	-4,91	-6,3	-3,95	0,2734	-5,05	-4,31	71,5	86,1	ne	ne
16	1	10	-4,5	75	558	3,80	100	558	5,09	-4,5	23,4	0,2532	10,33	16,64	23,4	75	ne	ne
16	1	11	-3,2	72,9	681	3,80	100	681	8,13	-3,2	16,07	0,2599	14,9	22,39	19,2	72,9	ne	ne
16	1	12	-1,9	66	739	3,80	100	739	10,25	-1,9	18,77	0,2628	17,74	25,78	16,4	66	ne	ne
16	1	13	-1,4	69,1	731	4,80	100	731	9,32	-1,4	17,24	0,3082	18,03	25,27	19,6	69,1	ne	ne
16	1	14	-0,9	70,2	655	4,80	100	655	8,85	-0,9	16,02	0,3047	16,51	23,08	22,3	70,2	ne	ne
16	1	15	-0,9	66,7	508	5,80	100	508	6,05	-0,9	11,35	0,3486	12,6	17,36	28,6	66,7	ne	ne
16	1	16	-1,8	70,4	134	6,80	100	134	0,37	-1,8	2,04	0,3879	2,2	3,4	52,9	70,4	ne	ne
16	1	17	-3,6	78,7	0	3,80	100	-28,2	-3,39	-3,6	-3,26	0,2123	-4,44	-4,33	77,7	78,7	ne	ne
16	1	18	-4,8	81,4	0	3,80	100	-28,2	-4,55	-4,8	-4,4	0,2125	-4,8	-4,4	80	81,4	ne	ne
16	1	19	-5,6	89,5	0	3,80	100	-28,2	-5,33	-5,6	-5,16	0,2126	-6,44	-6,3	87,6	89,5	ne	ne
16	1	20	-4,2	75,6	0	3,80	110	-28,2	-3,97	-4,2	-3,83	0,2124	-5,04	-4,92	74,6	75,6	ne	ne
16	1	21	-5,3	79,5	0	3,80	110	-28,2	-5,04	-5,3	-4,87	0,2126	-6,14	-6,01	78,1	79,5	ne	ne
16	1	22	-5,4	79,5	0	2,80	110	-28,2	-5,08	-5,4	-4,91	0,1567	-6,24	-6,09	78,3	79,5	ne	ne
16	1	23	-6,5	88,6	0	3,80	110	-28,2	-6,2	-6,5	-6,01	0,2127	-7,34	-7,19	86,6	88,6	ne	ne
17	1	0	-7	88,2	0	2,80	110	-28,2	-6,62	-7	-6,43	0,157	-7,84	-7,66	86,2	88,2	ne	ne
17	1	1	-7,6	93,8	0	1,80	90	-28,2	-7,12	-7,6	-6,93	0,1022	-8,44	-8,23	92	93,8	ano	ne
17	1	2	-7,9	90,3	0	1,80	100	-28,2	-7,4	-7,9	-7,21	0,1023	-8,74	-8,52	88,8	90,3	ne	ne
17	1	3	-8,2	96,7	0	1,80	100	-28,2	-7,69	-7,9	-7,28	0,1024	-9,04	-8,82	94,7	96,7	ano	ne
17	1	4	-7,9	100	0	2,80	100	-28,2	-7,49	-7,9	-7,28	0,1572	-8,74	-8,55	97,1	100	ano	ne
17	1	5	-7,6	93,8	0	2,80	110	-28,2	-7,2	-7,6	-6,99	0,1572	-8,44	-8,25	91,3	93,8	ano	ne
17	1	6	-9,4	100	0	0,80	110	-28,2	-8,71	-9,4	-8,58	0,0516	-10,24	-9,98	96,6	100	ano	ano
17	1	7	-10,1	100	0	0,00	0	-28,2	-9,31	-10,1	-9,23	0,0286	-10,94	-10,67	96,9	100	ano	ano
17	1	8	-9,2	100	0	0,00	0	-28,2	-8,46	-9,2	-8,39	0,0275	-10,04	-9,79	96,8	100	ano	ano
17	1	9	-9,5	100	66	0,00	0	66	-5,89	-9,5	-4,9	0,0693	-7,53	-6,09	71,8	100	ne	ne
17	1	10	-6,1	91,9	599	0,00	0	599	8	-6,1	15,78	0,1521	9,82	18,33	19,6	91,9	ne	ne
17	1	11	-5	81	722	0,80	30	722	11,12	-5	20,35	0,1632	14,19	24,04	14,3	81	ne	ne
17	1	12	-2,2	78,8	782	1,80	30	782	13,53	-2,2	23,27	0,193	18,58	28,48	14,6	78,8	ne	ne
17	1	13	-2,3	73,1	774	1,80	90	774	16,58	-2,3	26,32	0,1376	18,27	29,4	11,4	73,1	ne	ne
17	1	14	-1,2	60,7	697	2,80	80	697	21,71	-1,2	28,09	0,0654	17,32	28,71	9,9	60,7	ne	ne
17	1	15	-0,4	59,3	546	1,80	90	546	14,74	-0,4	21,38	0,1093	14,11	22,58	14,6	59,3	ne	ne
17	1	16	-2,3	71,2	128	1,80	30	128	3,29	-2,3	4,39	0,0523	1,52	3,62	46,2	71,2	ne	ne
17	1	17	-3,8	73,9	0	1,80	30	-28,2	-3,48	-3,8	-3,36	0,096	-4,64	-4,5	73,9	74	ne	ne
17	1	18	-4,6	76,7	0	1,80	30	-28,2	-4,24	-4,6	-4,11	0,0957	-5,44	-5,29	75,5	76,7	ne	ne
17	1	19	-5,1	87,5	0	0,80	40	-28,2	-4,62	-5,1	-4,56	0,0345	-5,94	-5,77	87,5	92,1	ano	ne
17	1	20	-6,5	97,1	0	0,80	320	-28,2	-5,93	-6,5	-5,86	0,033	-7,34	-7,14	97,1	100	ano	ano
17	1	21	-6,7	88,6	0	0,80	320	-28,2	-6,12	-6,7	-6,05	0,0328	-7,54	-7,34	88,6	94,1	ano	ne
17	1	22	-7,2	100	0	0,80	320	-28,2	-6,59	-7,2	-6,52	0,0323	-8,04	-7,83	97,2	100	ano	ano
17	1	23	-7,3	100	0	0,80	320	-28,2	-6,68	-7,3	-6,61	0,0322	-8,14	-7,93	98,2	100	ano	ano
18	1	0	-7,1	97,1	0	0,80	280	-28,2	-6,5	-7,1	-6,42	0,0324	-7,94	-7,73	97,1	100	ano	ano
18	1	1	-7,6	100	0	0,80	290	-28,2	-6,97	-7,6	-6,89	0,0318	-8,44	-8,22	97,1	100	ano	ano
18	1	2	-8,7	100	0	1,80	240	-28,2	-8	-8,7	-7,92	0,0306	-9,54	-9,3	97,3	100	ano	ano
18	1	3	-9	100	0	1,80	240	-28,2	-8,28	-9	-8,2	0,0303	-9,84	-9,59	96,8	100	ano	ano
18	1	4	-9,1	100	0	1,80	240	-28,2	-8,55	-9,1	-8,33	0,1028	-9,94	-9,7	97,2	100	ano	ano
18	1	5	-9,1	100	0	1,80	240	-28,2	-8,55	-9,1	-8,33	0,1028	-9,94	-9,7	97,2	100	ano	ano

18	1	6	-8,6	100	0	2,80	200	-28,2	-8,17	-8,6	-7,94	0,1574	-9,44	-9,23	96,9	100	ano	ano	
18	1	7	-8,9	100	0	2,80	210	-28,2	-8,46	-8,9	-8,22	0,1575	-9,74	-9,53	96,8	100	ano	ne	
18	1	8	-8,9	100	0	1,80	200	-28,2	-8,36	-8,9	-8,15	0,1027	-9,74	-9,5	97,1	100	ano	ne	
18	1	9	-8,7	100	43	1,80	200	43	-6,32	-8,7	-5,29	0,1163	-7,42	-6,35	77,3	100	ne	ne	
18	1	10	-4,9	88,1	753	0,80	190	753	11,41	-4,9	20,99	0,1712	15,11	25,17	15,1	88,1	ne	ne	
18	1	11	-1	66,7	881	0,80	100	881	17,37	-1	28,36	0,1802	22,41	33,83	10,3	66,7	ne	ne	
18	1	12	0,2	64,5	947	0,80	20	947	18,73	0,2	32,05	0,1748	25,37	37,75	8,9	64,5	ne	ne	
18	1	13	0,2	67,7	936	0,80	30	936	20,09	0,2	31,75	0,174	25,08	37,34	9,5	67,7	ne	ne	
18	1	14	1,8	68,6	850	0,80	40	850	20,4	1,8	31,02	0,1666	24,39	35,75	11	68	ne	ne	
18	1	15	0,3	62,9	686	0,80	60	686	16,22	0,3	24,91	0,1525	18,53	28,1	13	62,9	ne	ne	
18	1	16	-1,5	70,9	172	0,80	30	172	4,82	-1,5	6,77	0,0806	3,63	6,23	40,6	70,9	ne	ne	
18	1	17	-3,3	81,3	0	0,80	30	-28,2	-2,92	-3,3	-2,87	0,0362	-4,14	-4,01	81,3	85,4	ne	ne	
18	1	18	-4,7	86	0	0,80	30	-28,2	-4,24	-4,7	-4,18	0,0349	-5,54	-5,38	86	90,4	ano	ne	
18	1	19	-4,4	77,3	0	0,00	0	-28,2	-3,94	-4,4	-3,9	0,0207	-5,24	-5,08	77,3	87,6	ne	ne	
18	1	20	-4,5	79,5	0	0,00	0	-28,2	-4,03	-4,5	-4	0,0208	-5,34	-5,18	79,5	89,6	ne	ne	
18	1	21	-5,1	87,5	0	0,00	0	-28,2	-4,59	-5,1	-4,56	0,0218	-5,94	-5,77	87,5	96,9	ano	ne	
18	1	22	-5,1	87,5	0	0,00	0	-28,2	-4,73	-5,1	-4,56	0,0218	-5,94	-5,77	87,5	96,9	ano	ne	
18	1	23	-5,4	89,7	0	0,00	0	-28,2	-4,88	-5,4	-4,84	0,0222	-6,24	-6,06	89,7	98,9	ano	ne	
																		35,42%	15,63%

Tab. 21 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: série lednových mrazivých dnů – 15. až 18. leden – jižní fasáda.

## Komentář k vybraným korelacím klimatických dat a vypočtených hodnot:

### Korelace teplotního pole v prostředí provětrávané mezery a průběhu oslunění fasády:

**a/ průběh teplotního pole v denním období:** odpovídá průběhu oslunění fasády. S rostoucími hodnotami sluneční radiace ( $W/m^2$ ) roste jak průměrná, tak maximální teplota v provětrávané mezeře i minimální a maximální teploty vnitřního líce obkladu fasády.

**b/ Průběh teplotního pole v noci:** sleduje průběh vnější teploty. Nejvyšších hodnot dosahuje v důsledku teplotního toku z interiérové strany konstrukce maximální teplota v provětrávané mezeře. Hodnoty minimální a maximální teploty vnitřního líce obkladu zůstávají pod křivkou průběhu vnější teploty.

**c/ Diference teplot:** pro konstrukční a materiálové řešení fasády hrají důležitou úlohu nejenom absolutní hodnoty konkrétních teplotních křivek, ale i diference teplotního pole.

**c.1/ Diference teplot v nočním období:** zatímco diference v denním období dosahují až dvouciferných hodnot, diference v nočním období bez vlivu oslunění, ale s vlivem záporného teplotního toku mezi fasádou a noční oblohou, dosahují rozdílů v řádech jednotek stupňů, a to jak mezi jednotlivými křivkami teplotního pole výpočtového modelu fasády mezi sebou, tak i vůči křivce teploty vnějšího prostředí, jejíž trend je jednotlivými křivkami jednoznačně sledován. K nárůstům směrem k maximálním hodnotám s vlivem sluneční radiace dochází ruku v ruce s nárůsty hodnot sluneční radiace, a to v řádu několika málo hodin, stejně jako při poklesu hodnot po západu Slunce.

**c.2/ Diference teplotního pole v denním období:** stejně jako v případě absolutních hodnot průběhu teplot v prostředí provětrávané mezery jsou hodnoty sluneční radiace v jasné korelaci s hodnotami diferencí teplotního pole. S rostoucími hodnotami slunečního záření rostou i velikosti diferencí nejen mezi minimálními a maximálními hodnotami té které křivky, ale i velikosti diferencí mezi křivkami teplotního pole výpočtového modelu a křivkou vnější teploty a mezi křivkami teplotního pole v noci (bez vlivu radiace) a ve dne (s vlivem radiace). K nejvyšším diferencím dochází v posledním dni sledované série lednových mrazivých dnů, tedy 18/1, kdy jsou hodnoty přímého slunečního záření nejvyšší (947 W/m<sup>2</sup> ve 12.00hod):

- **Vnější teplota:** +0,2 °C

- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu fasády:** +37,75 °C (+37,55 °C nad vnější teplotou).

- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády:** +25,37 °C (+25,17 °C nad vnější teplotou a 12,38 °C pod maximální teplotou vnitřního líce obkladu fasády. Je-li minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády předpokládána u vstupního otvoru napojení provětrávané mezery na vnější prostředí, potom na výšku výpočtového modelu / cca jednoho podlaží dochází k ohřevu obkladu fasády o 12,38 °C.)

- **Maximální teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** +32,05 °C (+31,85 °C nad vnější teplotou a o 5,7 °C pod maximální teplotou dosaženou na vnitřním líci obkladu fasády).

- **Průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** +18,73 °C (+18,53 °C nad vnější teplotou). Vzhledem k tomu, že se jedná o teplotu průměrnou, není nutno její hodnotu porovnávat s dalšími absolutními hodnotami teplotního pole. Zanedbatelný ovšem není fakt, že pro účely energetických a tepelně-technických výpočtů by konstrukce jako celek byla dle Tab. H.2/ ČSN 73 0540-3 hodnocena a navrhována na normovou vnější teplotu  $\theta_e = -13$  °C (průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře, a tedy teplota na vnějším líci tepelné izolace hodnocené konstrukce, je však o 31,73 °C vyšší). Jedná se však o velmi krátkodobý vliv v řádu několika poledních hodin v každém z hodnocených dnů.

- **Minimální teplota v provětrávané mezeře:** není v příslušném grafu zobrazena, v podstatě se jedná o teplotu vnějšího prostředí, která v dolní části výpočtového modelu vstupuje do prostředí provětrávané mezery.

- **Maximální hodnoty teplotního pole v celé sérii sledovaných dnů:** ve čtyřech po sobě jdoucích dnech jsou dosažené rozdíly maximálních hodnot v řádu jednotek stupňů, do 10 °C.

## **Korelace vlhkostního pole v prostředí provětrávané mezery a průběhu oslunění fasády:**

**a/ průběh vlhkostního pole v denním období:** odpovídá průběhu oslunění fasády a průběhu pole teplotního. S rostoucími hodnotami sluneční radiace ( $W/m^2$ ) a teplotního pole ( $^{\circ}C$ ) se zvětšuje diference mezi křivkou znázorňující minimální relativní vlhkost vzduchu v provětrávané mezeře a křivkou znázorňující maximální relativní vlhkost vzduchu v provětrávané mezeře v té které konkrétní hodině. Zjednodušeně řečeno dochází k vysoušení vzduchu proudícího v provětrávané mezeře a takřka ke kompletnímu vymizení kolizních jevů souvisejících s výskytem kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády a ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře, a to včetně varovného stavu dosažení hodnoty relativní vlhkosti vzduchu v prostředí větrané mezery  $\varphi_{cv} < 90$  % dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2.

**b/ Průběh teplotního pole v noci:** v období mimo oslunění fasády dochází velmi rychle k přiblížení obou vlhkostních křivek. Rozdíl v absolutních hodnotách minimální a maximální relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře je v řádech pouhých jednotek procent, kvalita vzduchu v provětrávané mezeře se z pohledu změny jeho relativní vlhkosti po výšce výpočtového modelu téměř nemění. Prostředí provětrávané mezery je konfrontováno se vzduchem do mezery vstupujícím a hodnotami jeho relativní vlhkosti, která je v daném období poměrně vysoká (nezřídka dosahuje i 100 % hodnot).

**Četnost kolizních jevů** (dosažení varovného stavu  $\varphi_{cv} < 90$  % dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2, výskyt kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády (ve 35,42 % doby všech čtyřech po sobě jdoucích dnů) a výskyt kondenzace ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře (v 15,63 % doby všech čtyřech po sobě jdoucích dnů)) je vysoká a zasahuje téměř celé časové úseky dnů bez oslunění fasády – viz. např. podvečer a noc mezi 17/1 a 18/1. Výsledky jednoznačně poukazují na závislost vlhkostního pole v prostředí provětrávané mezery nejen na vlivu oslunění fasády, ale také na výši relativní vlhkosti vnějšího vzduchu vstupujícího do prostředí provětrávané mezery. Tepelný tok z interiérové strany konstrukce obvodového pláště v kombinaci se záporným teplotním tokem mezi fasádou a noční oblohou je tak malý, že i při neustále proudícím vzduchu v provětrávané mezeře nedojde k takovému poklesu jeho relativní vlhkosti, aby ke kolizním stavům nedocházelo.

**c/ Diference hodnot relativní vlhkosti:** pro konstrukční a materiálové řešení fasády hrají důležitou úlohu nejenom absolutní hodnoty konkrétních vlhkostních křivek, ale i jejich vzájemná diference.



**c.1/ Diference vlhkostního pole v nočním období:** zatímco difference v denním období dosahují hodnot v řádech několika desítek procent, difference v nočním období bez vlivu oslunění a s vlivem záporného teplotního toku mezi fasádou a noční oblohou, dosahují rozdílů v řádech jednotek procent, a to jak mezi jednotlivými křivkami vlhkostního pole výpočtového modelu fasády, tak i s ohledem na absolutní hodnoty relativní vlhkosti vnějšího vzduchu v té které hodině. K nárůstům k maximálním hodnotám diferencí s vlivem sluneční radiace dochází ruku v ruce s nárůsty hodnot sluneční radiace, a to v řádu několika málo hodin, stejně jako při poklesu hodnot po západu Slunce.

**c.2/ Diference vlhkostního pole v denním období:** stejně jako v případě absolutních hodnot průběhu vlhkostních křivek v prostředí provětrávané mezery jsou hodnoty sluneční radiace v jasné korelaci s hodnotami diferencí vlhkostního pole. S rostoucími hodnotami slunečního záření rostou i velikosti diferencí nejen mezi minimálními maximálními a maximálními hodnotami té které křivky, ale i velikosti diferencí mezi křivkami vlhkostního pole výpočtového modelu a absolutními hodnotami relativní vlhkosti vnějšího vzduchu. K nejvyšším diferencím dochází v posledním dni sledované série lednových mrazivých dnů, tedy 18/1, kdy jsou hodnoty přímého slunečního záření nejvyšší (947 W/m<sup>2</sup> ve 12.00 hodin):

- **Relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 64,5%

- **Maximální hodnota relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře:** 64.5 % (do provětrávané mezery vstupuje vnější vzduch).

- **Minimální hodnota relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře:** 8,9 % (v této hodině dojde na výšku výpočtového modelu 3 m k vysušení vzduchu proudícího v provětrávané mezeře až o 55,6 %).

- **Maximální hodnoty diferencí vlhkostního pole v celé sérii sledovaných dnů:** ve čtyřech po sobě jdoucích dnech jsou dosažené rozdíly vlhkostních křivek vždy v řádech několika desítek procent. Zjednodušeně řečeno, provětrávaná mezera obvodového pláště plní s podporou sluneční radiace svou očekávanou funkci velmi dobře, a to v každém dni v počtu hodin odpovídajících době oslunění fasády.

**Korelace rychlosti proudění v prostředí provětrávané mezery a dalších navazujících jevů (kvalita vnějšího prostředí vč. oslunění fasády / teplotní pole provětrávané mezery / vlhkostní pole provětrávané mezery):** po celou dobu všech čtyř po sobě jdoucích jasných mrazivých lednových dnů vzduch v provětrávané mezeře proudí nadnulovou rychlostí:

- **Maximální hodnoty rychlosti proudění:** jsou v každém ze čtyř po sobě jdoucích dnů dosahovány v době oslunění fasády, ale maximální hodnoty oslunění fasády ( $W/m^2$ ) nezaručují v absolutních hodnotách dosažení maximálních hodnot rychlosti proudění ( $m/s$ ). Zjednodušeně řečeno rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře není přímo úměrná výši sluneční radiace oslunění fasády. Maximálních hodnot sluneční radiace je ve sledovaném období dosaženo v poledních hodinách 18/1 a v této době jsou dosažené rychlosti proudění na nejnižších hodnotách v celé sérii čtyř po sobě jdoucích dnů.

- **Dosažené minimální a maximální hodnoty proudění v době maximálních hodnot oslunění fasády:** **min.** 0,1802  $m/s$  (18/1 v 11.00 hodin při oslunění  $881 W/m^2$ , vnější teplotě  $-4,9 ^\circ C$ , relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 88,1 % a rychlosti větru 0,8  $m/s$  (závětrná strana)) / **max.** 0,3879  $m/s$  (16/1 v 16.00 hodin při oslunění  $134 W/m^2$ , vnější teplotě  $-1,8 ^\circ C$ , relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 70,4 % a rychlosti větru 6,8  $m/s$  (návětrná strana).

- **Minimální hodnoty rychlosti proudění:** jsou v každém ze čtyř po sobě jdoucích dnů dosahovány mimo dobu oslunění fasády a jsou tím nižší, čím vyšší je relativní vlhkost vzduchu vstupujícího do provětrávané mezery a čím četnější je výskyt kolizních projevů kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády a ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře. Zjednodušeně řečeno, vzduch proudící v mezeře se nestačí dostatečně vysušit, je těžší a teplotní pole v kombinaci s parametry vnějšího prostředí a tepelným tokem ze strany interieru nepostačuje k dosažení dostatečně velkého teplotního rozdílu k dosažení vyšších rychlostí proudění vzduchu v provětrávané mezeře. Pozitivní ale je, že i za těchto podmínek vzduch neustále proudí a provětrávaná mezera je z tohoto pohledu v rámci svých možností funkční.

**Závěr:** oslunění fasády jednoznačně podporuje rychlost proudění v mezeře, dosažení maximálních absolutních hodnot rychlosti proudění není přímo úměrné dosažení maximálních absolutních hodnot sluneční radiace. Do hry se tak dostávají i další veličiny, především teplotně-vlhkostní parametry vnějšího vzduchu a pravděpodobně také vliv větru a orientace fasády (závětrná / návětrná strana).

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje:** Příloha 14.

#### **D.1.16/ Série únorových jasných mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda**

Pro analýzu dlouhodobějšího trendu poměrů v provětrávané mezeře výpočtového modelu obvodového pláště byly dále nahlíženy série několika po sobě jdoucích dnů podobné

charakteristiky výpočtových stavů, nebo s trendem k měnícímu se klimatu. Druhý z takové série je série čtyř po sobě jdoucích jasných mrazivých únorových dnů 23/2 až 27/2.

Z hlediska charakteristiky se jedná o dny, ve kterých po celý den zůstává teplota hluboko pod 0°C, sluneční záření reprezentuje položku přímého slunečního záření ve svých maximech v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu dne se pohybuje okolo hodnoty 90 % a zřídka se vyskytují i stavy se 100 % relativní vlhkostí vnějšího vzduchu. Zjednodušeně řečeno: jedná se o řadu zimních jasných mrazivých únorových dnů s inklinací ke zvýšené relativní vlhkosti vnějšího prostředí v určitých částech dnů.

Z hlediska analýzy vypočtených dat již v tomto případě nebyly nahlíženy pouze hodnoty maximální a minimální, ale jejich kontext v porovnání jednotlivých dnů mezi sebou. Grafické zpracování vypočtených dat i v tomto případě obsahuje:

- **Průběh rychlosti proudění v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění rychlostního pole byly vyznačeny **a/** rychlosti proudění v běžných podmínkách, **b/** rychlosti proudění v období oslunění fasády, **c/** rychlosti proudění při překročení normové hodnoty 90 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **d/** rychlosti proudění při kondenzaci vodní páry na zadním líci obkladu fasády a **e/** rychlosti proudění při kondenzaci vodní páry v proudícím vzduchu uvnitř větrané mezery.

- **Průběh teplot v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění teplotního pole byly zpracovány **a/** vnější teplota, **b/** průměrná teplota v mezeře, **c/** maximální teplota v mezeře, **d/** minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády a **e/** maximální teplota vnitřního líce obkladu fasády.

- **Vlhkost vzduchu v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění průběhu relativní vlhkosti v provětrávané mezeře výpočtového modelu byly zpracovány **a/** křivka minimální relativní vlhkosti v provětrávané mezeře a **b/** křivka maximální relativní vlhkosti v provětrávané mezeře.

U obou těchto křivek jsou vyznačeny: **a/** hodnoty relativní vlhkosti v běžných normových podmínkách, **b/** hodnoty relativní vlhkosti při překročení normové indikativní hodnoty 90 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **c/** hodnoty relativní vlhkosti při oslunění fasády, **d/** hodnoty relativní vlhkosti při oslunění fasády a zároveň překračující normovou indikativní hodnotu 90% relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **e/** hodnoty relativní vlhkosti při výskytu kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády a **f/** hodnoty relativní vlhkosti při výskytu kondenzace v proudícím vzduchu v prostředí provětrávané mezery.

- Průběh slunečního záření (den) / tepelného toku mezi fasádou a oblohou (noc): sluneční záření a jeho hodnoty jsou uvedeny bez rozdílu mezi difúzním a přímým zářením, pro průběh oslunění fasády v sérii dnů jde spíše o rychlost nárůstu slunečního záření v průběhu dne. Tepelný tok mezi fasádou a oblohou je v souladu s kapitolou D.1/ Výpočtový model, odst. e/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou uvedena jednotně průměrnou hodnotou -28,2 W/m<sup>2</sup>.

Hodnoty výpočtových stavů a jejich výsledků v sérii únorových mrazivých dnů 23 až 27/2 jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 22), vyznačené hodnoty reprezentují maxima / minima vybraných kategorií.

UNOR - SÉRIE MRAZIVÝCH DNŮ 23 AŽ 27/2 - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Globální záření přepočtená na 1h	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Přím. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Přím. nárůst proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. lce obkladu	Max. teplota vnitř. lce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřním lci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m <sup>2</sup>	m/s	°	W/m <sup>2</sup>	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
23	2	0	-0,1	95,1	0	5,90	290	-28,2	-0,02	-0,1	0,03	0,3297	-0,94	-0,9	84,8	85,1	ne	ne
23	2	1	-0,5	96,6	0	9,90	300	-28,2	-0,44	-0,5	-0,4	0,5556	-1,34	-1,31	96,1	96,6	ano	ne
23	2	2	-1,9	96,2	0	3,90	260	-28,2	-1,74	-1,9	-1,64	0,2163	-2,74	-2,66	95,2	96,2	ano	ne
23	2	3	-0,9	96,5	0	2,90	290	-28,2	-0,75	-0,9	-0,67	0,1597	-1,74	-1,67	95,9	96,5	ano	ne
23	2	4	-0,7	96,6	0	1,90	340	-28,2	-0,52	-0,7	-0,46	0,1028	-1,54	-1,46	95,9	96,6	ano	ne
23	2	5	-0,8	96,6	0	0,00	0	-28,2	-0,55	-0,8	-0,54	0,0141	-1,64	-1,56	96,6	100	ano	ano
23	2	6	-0,4	96,6	0	2,90	260	-28,2	-0,27	-0,4	-0,2	0,349	-1,24	-1,18	96	96,6	ano	ne
23	2	7	-1,1	96,4	0	1,90	310	-28,2	-0,91	-1,1	-0,83	0,1026	-1,94	-1,86	96,2	96,4	ano	ne
23	2	8	-0,7	98,3	17	1,90	310	17	0,79	-0,7	1,32	0,0933	-0,19	0,44	86,2	98,3	ne	ne
23	2	9	-0,5	98,3	38	1,90	300	38	1,63	-0,5	2,35	0,0886	0,63	1,53	81,5	98,3	ne	ne
23	2	10	-0,3	96,7	61	2,90	320	61	1,95	-0,3	3,09	0,1494	1,52	2,58	76,7	96,7	ne	ne
23	2	11	-0,4	96,8	78	2,90	310	78	2,28	-0,4	3,62	0,1472	1,93	3,19	73,4	96,8	ne	ne
23	2	12	-0,4	89,8	481	5,90	310	481	6,74	-0,4	12,04	0,3141	12,38	17,22	38,2	89,8	ne	ne
23	2	13	-0,8	93,1	555	7,90	320	555	5,54	-0,8	10,65	0,4348	13,95	18,4	41,9	93,1	ne	ne
23	2	14	-1,3	85,7	221	5,90	320	221	2,47	-1,3	5,2	0,3216	5,29	7,33	53,7	85,7	ne	ne
23	2	15	-1,6	87	409	7,90	320	409	3,17	-1,6	7,02	0,4367	9,27	12,62	46,8	87	ne	ne
23	2	16	-2,4	84,3	280	5,90	290	280	2,27	-2,4	5,65	0,3196	5,95	8,48	46,8	84,3	ne	ne
23	2	17	-3,2	81,3	37	4,90	290	37	-0,83	-3,2	0,77	0,2666	-0,12	1,13	59,7	81,3	ne	ne
23	2	18	-4,5	81,8	0	4,90	280	-28,2	-4,3	-4,5	-4,16	0,2728	-5,34	-5,23	59,7	81,8	ne	ne
23	2	19	-3,5	78,7	0	5,90	300	-28,2	-3,34	-3,5	-3,23	0,3295	-4,34	-4,26	77,7	78,7	ne	ne
23	2	20	-6,4	77,8	0	3,90	280	-28,2	-6,11	-6,4	-5,92	0,2158	-7,24	-7,09	76,3	77,8	ne	ne
23	2	21	-5,3	87,2	0	3,90	290	-28,2	-5,04	-5,3	-4,88	0,216	-6,14	-6,01	85,5	87,2	ne	ne
23	2	22	-5,6	86,8	0	2,90	270	-28,2	-5,28	-5,6	-5,11	0,1589	-6,44	-6,29	85,2	86,8	ne	ne
23	2	23	-4,6	93	0	1,90	310	-28,2	-5,28	-5,6	-5,11	0,1589	-6,44	-6,29	85,2	86,8	ne	ne
24	2	0	-4,4	93,2	0	2,90	310	-28,2	-4,12	-4,4	-3,97	0,1591	-5,24	-5,11	91,6	93,2	ano	ne
24	2	1	-8	93,5	0	1,90	280	-28,2	-7,49	-8	-7,3	0,1003	-8,84	-8,62	91,8	93,5	ano	ne
24	2	2	-7	91,2	0	2,90	260	-28,2	-6,63	-7	-6,43	0,1586	-7,84	-7,76	89	91,2	ne	ne
24	2	3	-6,5	94,3	0	2,90	280	-28,2	-6,14	-6,5	-5,96	0,1587	-6,5	-5,96	92,1	94,3	ano	ne
24	2	4	-9	92,9	0	2,90	280	-28,2	-8,55	-9	-8,32	0,1582	-9,84	-9,63	90,2	92,9	ano	ne
24	2	5	-10,7	91,7	0	2,90	330	-28,2	-10,19	-10,7	-9,92	0,1579	-11,54	-11,3	88,7	91,7	ano	ne
24	2	6	-11,3	91,3	0	1,90	280	-28,2	-10,65	-11,3	-10,39	0,0991	-12,14	-11,86	88,1	91,3	ano	ne
24	2	7	-10,8	91,7	0	2,90	260	-28,2	-10,29	-10,8	-10,02	0,1579	-11,64	-11,4	88,6	91,7	ano	ne
24	2	8	-8,1	80,6	56	2,90	310	56	-5,7	-8,1	-4,46	0,1482	-6,43	-5,29	61	80,6	ne	ne
24	2	9	-6,9	73,5	482	2,90	320	482	9,96	-6,9	14,29	0,0657	7,48	14,13	17,2	73,5	ne	ne
24	2	10	-5,1	75	648	1,90	360	648	11,97	-5,1	20,1	0,1207	12,12	21,92	13,6	75	ne	ne
24	2	11	-4,9	71,4	771	2,90	360	771	19,47	-4,9	27,27	0,0742	15,59	28,09	9,1	71,4	ne	ne
24	2	12	-4,8	69,8	833	2,90	360	833	20,2	-4,8	29,28	0,0853	17,34	30,59	7,9	69,8	ne	ne
24	2	13	-4,5	63,6	829	2,90	20	829	20,47	-4,5	29,45	0,0844	17,53	30,73	7,4	63,6	ne	ne
24	2	14	-4,6	65,1	759	1,90	50	759	14,25	-4,6	23,83	0,1332	15,57	26,62	9,9	65,1	ne	ne
24	2	15	-5,1	67,5	627	0,90	360	627	9,87	-5,1	17,96	0,147	11,56	20,53	13,8	67,5	ne	ne
24	2	16	-6,1	64,9	445	0,00	0	445	5,86	-6,1	11,65	0,137	7,17	12,75	18,3	64,9	ne	ne

24	2	17	-8,4	76,7	68	0,00	0	68	-4,77	-8,4	-3,79	0,0692	-6,37	-4,92	55,4	76,7	ne	ne
24	2	18	-8	77,4	0	0,00	0	-28,2	-7,33	-8	-7,27	0,0259	-8,84	-8,61	77,4	87,5	ne	ne
24	2	19	-9	82,1	0	1,90	360	-28,2	-8,45	-9	-8,24	0,1	-9,84	-9,6	80	82,1	ne	ne
24	2	20	-10,7	91,7	0	0,90	350	-28,2	-9,69	-10,7	-9,79	0,0359	-11,54	-11,26	88,6	98	ano	ne
24	2	21	-10,7	100	0	0,90	310	-28,2	-9,9	-10,7	-9,79	0,0359	-11,54	-11,26	96,3	100	ano	ano
24	2	22	-10,8	95,8	0	0,00	0	-28,2	-9,97	-10,8	-9,88	0,0295	-11,64	-11,35	92,4	100	ano	ano
24	2	23	-9,9	92,3	0	0,00	240	-28,2	-9,12	-9,9	-9,04	0,0284	-10,74	-10,47	90,1	100	ano	ano
25	2	0	-9,9	88,5	0	0,00	0	-28,2	-9,12	-9,9	-9,04	0,0284	-10,74	-10,47	88,5	97,9	ano	ne
25	2	1	-12,2	90,5	0	0,00	0	-28,2	-11,29	-12,2	-11,19	0,0311	-13,04	-12,72	88	100	ano	ano
25	2	2	-13,7	89,5	0	1,90	250	-28,2	-12,97	-13,7	-12,66	0,1097	-14,54	-14,22	86	89,5	ano	ne
25	2	3	-13,7	89,5	0	1,90	270	-28,2	-12,97	-13,7	-12,66	0,1097	-14,54	-14,22	86	89,5	ano	ne
25	2	4	-13,4	94,7	0	1,90	240	-28,2	-12,68	-13,4	-12,38	0,1096	-14,24	-13,92	90,9	94,7	ano	ne
25	2	5	-13,4	94,7	0	2,90	230	-28,2	-12,81	-13,4	-12,48	0,1639	-14,24	-13,95	90,9	94,7	ano	ne
25	2	6	-13,2	94,7	0	1,90	230	-28,2	-12,49	-13,2	-12,19	0,1095	-14,04	-13,73	90,9	94,7	ano	ne
25	2	7	-11,7	90,9	0	1,90	230	-28,2	-11,05	-11,7	-10,78	0,109	-12,54	-12,25	87,6	90,9	ano	ne
25	2	8	-9,9	88,5	64	1,90	210	64	-7,02	-9,9	-5,7	0,125	-7,99	-6,67	64,2	88,5	ne	ne
25	2	9	-6,6	77,1	486	1,90	190	486	4,81	-6,6	11,23	0,1751	-7,9	13,49	21,1	77,1	ne	ne
25	2	10	-4,7	69,8	658	0,90	160	658	10,01	-4,7	18,47	0,1644	12,79	21,79	14,2	69,8	ne	ne
25	2	11	-4,7	72,1	779	0,00	0	779	12,32	-4,7	22,22	0,1681	16	26,47	11,7	72,1	ne	ne
25	2	12	-3,7	58,7	665	0,90	90	665	11,13	-3,7	19,65	0,1647	13,97	23,05	12,1	58,7	ne	ne
25	2	13	-2,3	44,2	594	0,90	120	594	11,37	-2,3	19,01	0,1577	13,49	21,77	10,7	44,2	ne	ne
25	2	14	-2,2	44,2	541	1,90	110	541	9,53	-2,2	16,49	0,1768	12,18	19,44	12,6	44,2	ne	ne
25	2	15	-2,4	64,7	109	1,90	50	109	1,3	-2,4	3,01	0,1297	0,85	2,55	44,1	64,7	ne	ne
25	2	16	-3,2	79,2	46	1,90	100	46	-0,59	-3,2	0,17	0,0766	-1,83	-0,77	62,6	79,2	ne	ne
25	2	17	-3,7	78,3	18	0,90	90	18	-1,73	-3,7	-1,38	0,0479	-3,16	-2,43	69,3	78,3	ne	ne
25	2	18	-4,3	84,1	0	0,00	0	-28,2	-3,89	-4,3	-3,81	0,0529	-5,14	-4,99	82,8	85,9	ne	ne
25	2	19	-4,3	81,4	0	0,90	340	-28,2	-4,37	-4,8	-4,28	0,0532	-5,64	-5,48	80,1	83,3	ne	ne
25	2	20	-5,8	81,6	0	0,90	260	-28,2	-5,31	-5,8	-5,21	0,0539	-6,64	-6,46	80	83,5	ne	ne
25	2	21	-5,1	90	0	0,00	0	-28,2	-4,59	-5,1	-4,56	0,0218	-5,94	-5,77	88,3	99,2	ano	ne
25	2	22	-4,4	77,3	0	1,90	170	-28,2	-4,06	-4,4	-3,93	0,1066	-5,24	-5,09	76,2	77,3	ne	ne
25	2	23	-4,6	72,1	0	2,90	180	-28,2	-4,32	-4,6	-4,16	0,1621	-5,44	-5,3	71,3	72,1	ne	ne
26	2	0	-5,3	74,4	0	1,90	190	-28,2	-4,92	-5,3	-4,77	0,1069	-6,14	-5,98	73,2	74,4	ne	ne
26	2	1	-6,2	75	0	1,90	340	-28,2	-5,78	-6,2	-5,61	0,1009	-7,04	-6,86	73,6	75	ne	ne
26	2	2	-6,1	73	0	0,00	0	-28,2	-5,54	-6,1	-5,49	0,0232	-6,94	-6,75	71,7	83,4	ne	ne
26	2	3	-5,8	71,1	0	1,90	210	-28,2	-5,4	-5,8	-5,24	0,1071	-6,64	-6,47	69,9	71,1	ne	ne
26	2	4	-6,2	75	0	2,90	210	-28,2	-5,86	-6,2	-5,68	0,1624	-7,04	-6,88	73,6	75	ne	ne
26	2	5	-8,1	80,6	0	4,90	230	-28,2	-7,81	-8,1	-7,6	0,2746	-8,94	-8,78	78,6	80,6	ne	ne
26	2	6	-7,3	81,8	0	4,90	240	-28,2	-7,03	-7,3	-6,84	0,2745	-8,14	-8	79,9	81,8	ne	ne
26	2	7	-7,3	81,8	0	4,90	220	-28,2	-7,03	-7,3	-6,84	0,2745	-8,14	-8	79,9	81,8	ne	ne
26	2	8	-4,7	79,1	59	4,90	220	59	-3,09	-4,7	-1,98	0,2798	-2,94	-2,09	63,8	79,1	ne	ne
26	2	9	-2,3	71,2	510	6,90	230	510	3,89	-2,3	8,8	0,4067	11,25	15,57	32,2	71,2	ne	ne
26	2	10	-0,8	65,5	681	5,90	230	681	8,11	-0,8	14,98	0,3605	17,3	23,43	22,4	65,5	ne	ne
26	2	11	-0,6	63,8	806	6,90	250	806	8,74	-0,6	16,19	0,4164	20,82	27,35	20,6	63,8	ne	ne
26	2	12	0,2	66,1	870	5,90	270	870	11,3	0,2	19,88	0,3674	23,32	30,97	18,1	66,1	ne	ne
26	2	13	-0,4	78	772	4,90	250	772	10,73	-0,4	18,99	0,3146	20,12	27,65	21,5	78	ne	ne
26	2	14	0	77	415	5,90	270	415	5,74	0	10,13	0,3499	11,03	14,97	38,4	77	ne	ne
26	2	15	0	73,8	453	4,90	280	453	6,99	0	12,09	0,3	12,04	16,74	32,3	73,8	ne	ne
26	2	16	-1,2	78,6	234	3,90	270	234	3,67	-1,2	6,82	0,2381	5,78	8,3	44,6	78,6	ne	ne
26	2	17	-1,9	90,6	23	2,90	260	23	-0,58	-1,9	0,14	0,1677	-1,21	-0,57	77,8	90,6	ne	ne
26	2	18	-2,2	88,5	0	2,90	240	-28,2	-2	-2,2	-1,9	0,1616	-3,04	-2,95	87,6	88,5	ne	ne
26	2	19	-3,9	91,3	0	2,90	250	-28,2	-3,64	-3,9	-3,5	0,162	-4,74	-4,62	89,9	91,3	ne	ne
26	2	20	-4,9	90,5	0	2,90	240	-28,2	-4,61	-4,9	-4,45	0,1622	-5,74	-5,6	88,8	90,5	ne	ne
26	2	21	-3,7	93,5	0	4,90	240	-28,2	-3,52	-3,7	-3,39	0,2741	-4,54	-4,44	92,1	93,5	ano	ne
26	2	22	-2,6	88	0	3,90	250	-28,2	-2,42	-2,6	-2,31	0,2178	-3,44	-3,35	87	88	ne	ne
26	2	23	-3,7	89,1	0	1,90	260	-28,2	-3,39	-3,7	-3,27	0,1064	-4,54	-4,41	88	89,1	ne	ne
27	2	0	-4,2	91,1	0	1,90	230	-28,2	-3,87	-4,2	-3,74	0,1065	-5,04	-4,9	89,6	91,1	ne	ne
27	2	1	-4	91,1	0	1,90	240	-28,2	-3,68	-4	-3,55	0,1065	-4,84	-4,7	89,6	91,1	ne	ne
27	2	2	-6,2	88,9	0	2,90	230	-28,2	-5,86	-6,2	-5,68	0,1624	-7,04	-6,88	86,9	88,9	ne	ne
27	2	3	-6,5	94,3	0	3,90	230	-28,2	-6,2	-6,5	-6,02	0,2183	-7,34	-7,19	92	94,3	ano	ne
27	2	4	-6,5	97,1	0	2,90	220	-28,2	-6,19	-6,6	-5,97	0,1628	-7,37	-7,18	94	97,1	ano	ne
27	2	5	-6,8	97,1	0	1,90	230	-28,2	-6,36	-6,8	-6,18	0,1074	-7,64	-7,45	95	97,1	ano	ne
27	2	6	-7,5	96,9	0	2,90	230	-28,2	-7,11	-7,5	-6,9	0,1627	-8,34	-8,15	94,2	96,9	ano	ne
27	2	7	-6,5	94,3	0	2,90	230	-28,2	-6,15	-6,5	-5,96	0,1625	-7,34	-7,17	92	94,3	ano	ne
27	2	8	-4,2	84,4	17	2,90	160	17	-2,93	-4,2	-2,24	0,1675	-3,69	-3,08	73	84,4	ne	ne
27	2	9	-1,6	79,6	352	2,90	170	352	6,21	-1,6	10,88	0,2	8,9	12,82	33,4	79,6	ne	ne
27	2	10	-0,3	73,3	625	2,90	150	625	11,46	-0,3	19,13	0,2183	16,31	23,86	20,3	73,3	ne	ne
27	2	11	0,2	67,7	742	2,90	140	742	13,73	0,2	22,68	0,2257	19,92	28,66	15,7	67,7	ne	ne
27	2	12	0,5	68,3	803	3,90	140	803	13,41	0,5	22,53	0,2701	21,84	30,4	16,3	68,3	ne	ne

27	2	13	0,8	64,6	800	4,90	120	733	12,29	0,8	20,82	0,3157	22,06	29,84	17,4	64,6	ne	ne		
27	2	14	0,8	67,7	733	4,90	110	606	11,44	0,8	19,32	0,3128	20,28	27,48	20	67,7	ne	ne		
27	2	15	0,7	67,2	606	4,90	110	432	9,71	0,7	16,33	0,3071	16,81	22,88	23,7	67,2	ne	ne		
27	2	16	-0,9	73,7	432	4,90	100	219	5,81	-0,9	10,71	0,2991	10,58	15,1	33	73,7	ne	ne		
27	2	17	-1,7	75,9	219	4,90	110	-28,2	2,34	-1,7	5,17	0,289	4,83	6,99	46,2	75,9	ne	ne		
27	2	18	-4	80	0	3,90	110	-28,2	-3,78	-4	-3,64	0,218	-4,84	-4,73	78,9	80	ne	ne		
27	2	19	-5,1	90	0	3,90	130	-28,2	-4,85	-5,1	-4,69	0,2181	-5,94	-5,81	88,3	90	ne	ne		
27	2	20	-4,1	84,4	0	2,90	120	-28,2	-3,83	-4,1	-3,69	0,162	-4,94	-4,81	83,1	84,4	ne	ne		
27	2	21	-5,4	84,6	0	2,90	140	-28,2	-5,09	-5,4	-4,92	0,1623	-6,24	-6,09	83	84,6	ne	ne		
27	2	22	-5,9	81,1	0	4,90	120	-28,2	-5,66	-5,9	-5,5	0,2744	-6,74	-6,61	79,5	81,1	ne	ne		
27	2	23	-4,1	73,3	0	3,90	110	-28,2	-3,88	-4,1	-3,74	0,218	-4,94	-4,83	72,4	73,3	ne	ne		
																			34,40%	5,20%

Tab. 22 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: série únorových jasných mrazivých dnů – 23. až 27. únor – jižní fasáda.

## Komentář k vybraným korelacím klimatických dat a vypočtených hodnot:

### Korelace teplotního pole v prostředí provětrávané mezery a průběhu oslunění fasády:

**a/ průběh teplotního pole v denním období:** odpovídá průběhu oslunění fasády. S rostoucími hodnotami sluneční radiace ( $W/m^2$ ) roste jak průměrná, tak maximální teplota v provětrávané mezeře i minimální a maximální teploty vnitřního líce obkladu fasády.

**b/ Průběh teplotního pole v noci:** sleduje průběh vnější teploty. Nejvyšších hodnot dosahuje v důsledku teplotního toku z interiérové strany konstrukce maximální teplota v provětrávané mezeře. Hodnoty minimální a maximální teploty vnitřního líce obkladu zůstávají pod křivkou průběhu vnější teploty.

**c/ Diference teplot:** pro konstrukční a materiálové řešení fasády hrají důležitou úlohu nejenom absolutní hodnoty konkrétních teplotních křivek, ale i diference teplotního pole.

**c.1/ Diference teplot v nočním období:** zatímco diference v denním období dosahují až dvouciferných hodnot, diference v nočním období bez vlivu oslunění, ale s vlivem záporného teplotního toku mezi fasádou a noční oblohou, dosahují rozdílů v řádech jednotek stupňů, a to jak mezi jednotlivými křivkami teplotního pole výpočtového modelu fasády, tak i vůči křivce teploty vnějšího prostředí, jejíž trend je jednotlivými křivkami jednoznačně sledován. K nárůstům k maximálním hodnotám s vlivem sluneční radiace dochází ruku v ruce s nárůsty hodnot sluneční radiace, a to v řádu několika málo hodin, stejně jako při poklesu hodnot po západu Slunce.

**c.2/ Diference teplotního pole v denním období:** stejně jako v případě absolutních hodnot průběhu teplot v prostředí provětrávané mezery jsou hodnoty sluneční radiace v jasné korelaci s hodnotami diferencí teplotního pole. S rostoucími hodnotami slunečního záření rostou i velikosti diferencí nejen mezi minimálními a maximálními hodnotami té které křivky, ale i velikosti diferencí mezi křivkami teplotního pole výpočtového modelu a křivkou vnější teploty a mezi křivkami teplotního pole v noci (bez vlivu radiace) a ve dne (s vlivem radiace). K nejvyšším diferencím

dochází ve druhém dni sledované série únorových mrazivých dnů, tedy 24/2, kdy ale nejsou hodnoty přímého slunečního záření nejvyšší (829 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin):

- **Vnější teplota:** -4,5 °C

- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu fasády:** +30,73 °C (+35,23 °C nad vnější teplotou).

- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády:** +17,53 °C (+22,03 °C nad vnější teplotou a 13,2 °C pod maximální teplotou vnitřního líce obkladu fasády. Je-li minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády předpokládána u vstupního otvoru napojení provětrávané mezery na vnější prostředí, potom na výšku výpočtového modelu / cca jednoho podlaží dochází k ohřevu obkladu fasády o 13,2 °C.)

- **Maximální teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** +29,45 °C (+33,95 °C nad vnější teplotou a o 1,28 °C pod maximální teplotou dosaženou na vnitřním líci obkladu fasády).

- **Průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** +20,47 °C (+24,97 °C nad vnější teplotou). Vzhledem k tomu, že se jedná o teplotu průměrnou, není nutno její hodnotu porovnávat s dalšími absolutními hodnotami teplotního pole. Zanedbatelný ovšem není fakt, že pro účely energetických a tepelně-technických výpočtů by konstrukce jako celek byla dle Tab. H.2/ ČSN 73 0540-3 hodnocena a navrhována na normovou vnější teplotu  $\theta_e = -13$  °C (průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře, a tedy teplota na vnějším líci tepelné izolace hodnocené konstrukce, je však o 33,47 °C vyšší). Jedná se však o velmi krátkodobý vliv v řádu několika poledních hodin v každém z hodnocených dnů.

- **Minimální teplota v provětrávané mezeře:** není v příslušném grafu zobrazena, v podstatě se jedná o teplotu vnějšího prostředí, která v dolní části výpočtového modelu vstupuje do prostředí provětrávané mezery.

- **Maximální hodnoty teplotního pole v celé sérii sledovaných dnů:** ve čtyřech po sobě jdoucích dnech jsou dosaženy rozdíly maximálních hodnot v řádu jednotek stupňů, do 13 °C.

- **Korelace vlhkostního pole v prostředí provětrávané mezery a průběhu oslunění fasády:**

**a/ průběh vlhkostního pole v denním období:** odpovídá průběhu oslunění fasády a průběhu pole teplotního. S rostoucími hodnotami sluneční radiace (W/m<sup>2</sup>) a teplotního pole (°C) se zvětšuje diference mezi křivkou znázorňující minimální relativní vlhkost vzduchu v provětrávané mezeře a křivkou znázorňující maximální relativní vlhkost vzduchu v provětrávané mezeře v té které konkrétní hodině. Zjednodušeně řečeno dochází k vysoušení vzduchu proudícího v provětrávané

mezeře a ke kompletnímu vymizení kolizních jevů souvisejících s výskytem kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády a ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře, a to včetně varovného stavu dosažení hodnoty relativní vlhkosti vzduchu v prostředí větrané mezery  $\varphi_{cv} < 90$  % dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2.

**b/ Průběh teplotního pole v noci:** v období mimo oslunění fasády dochází velmi rychle k přiblížení obou vlhkostních křivek. Rozdíl v absolutních hodnotách minimální a maximální relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře je v řádech pouhých jednotek procent, kvalita vzduchu v provětrávané mezeře se z pohledu změny jeho relativní vlhkosti po výšce výpočtového modelu téměř nemění. Prostředí provětrávané mezery je konfrontováno se vzduchem do mezery vstupujícím a hodnotami jeho relativní vlhkosti, která je v daném období poměrně vysoká (zřídka dosahuje i 100 % hodnot). Četnost kolizních jevů (dosažení varovného stavu  $\varphi_{cv} < 90$  % dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2, výskyt kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády (ve 34,4 % doby všech čtyřech po sobě jdoucích dnů) a výskyt kondenzace ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře (v 5,2 % doby všech čtyř po sobě jdoucích dnů)) je tedy poměrně vysoká a zasahuje významné části dne bez oslunění fasády a téměř celé časové úseky dnů bez oslunění fasády – viz. např. podvečer a noc mezi 24/2 a 25/2. Výsledky jednoznačně poukazují na závislost vlhkostního pole v prostředí provětrávané mezery nejen na vlivu oslunění fasády, ale také na výši relativní vlhkosti vnějšího vzduchu vstupujícího do prostředí provětrávané mezery. Tepelný tok z interiérové strany konstrukce obvodového pláště v kombinaci se záporným teplotním tokem mezi fasádou a noční oblohou je tak malý, že i při neustále proudícím vzduchu v provětrávané mezeře nedojde k takovému poklesu jeho relativní vlhkosti, aby ke kolizním stavům nedocházelo.

**c/ Diference hodnot relativní vlhkosti:** pro konstrukční a materiálové řešení fasády hrají důležitou úlohu nejenom absolutní hodnoty konkrétních vlhkostních křivek, ale i jejich vzájemná diference.

**c.1/ Diference vlhkostního pole v nočním období:** zatímco diference v denním období dosahují hodnot v řádech několika desítek procent, diference v nočním období bez vlivu oslunění a s vlivem záporného teplotního toku mezi fasádou a noční oblohou, dosahují rozdílů v řádech jednotek procent, a to jak mezi jednotlivými křivkami vlhkostního pole výpočtového modelu fasády, tak i s ohledem na absolutní hodnoty relativní vlhkosti vnějšího vzduchu v té které hodině. K nárůstům k maximálním hodnotám diferencí s vlivem sluneční radiace dochází ruku v ruce s nárůsty hodnot sluneční radiace, a to v řádu několika málo hodin, stejně jako při poklesu hodnot po západu Slunce.



**c.2/ Diference vlhkostního pole v denním období:** stejně jako v případě absolutních hodnot průběhu vlhkostních křivek v prostředí provětrávané mezery jsou hodnoty sluneční radiace v jasné korelaci s hodnotami diferencí vlhkostního pole. S rostoucími hodnotami slunečního záření rostou i velikosti diferencí nejen mezi minimálními maximálními a maximálními hodnotami té které křivky, ale i velikosti diferencí mezi křivkami vlhkostního pole výpočtového modelu a absolutními hodnotami relativní vlhkosti vnějšího vzduchu. K nejvyšším diferencím dochází ve druhém dni sledované série únorových mrazivých dnů, tedy 24/2, kdy ale nejsou hodnoty přímého slunečního záření nejvyšší (829 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin):

- **Relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 63,6%

- **Maximální hodnota relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře:** 63,6 % (do provětrávané mezery vstupuje vnější vzduch).

- **Minimální hodnota relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře:** 7,4 % (v této hodině dojde na výšku výpočtového modelu 3 m k vysušení vzduchu proudícího v provětrávané mezeře až o 56,2 %).

- **Maximální hodnoty diferencí vlhkostního pole v celé sérii sledovaných dnů:** ve čtyřech po sobě jdoucích dnech jsou dosažené rozdíly vlhkostních křivek vždy v řádech několika desítek procent. Zjednodušeně řečeno, provětrávaná mezera obvodového pláště plní s podporou sluneční radiace svou očekávanou funkci velmi dobře, a to v každém dni v počtu hodin odpovídajících době oslunění fasády.

**Korelace rychlosti proudění v prostředí provětrávané mezery a dalších navazujících jevů (kvalita vnějšího prostředí vč. oslunění fasády / teplotní pole provětrávané mezery / vlhkostní pole provětrávané mezery):** po celou dobu všech čtyř po sobě jdoucích jasných mrazivých lednových dnů vzduch v provětrávané mezeře proudí nadnulovou rychlostí:

- **Maximální hodnoty rychlosti proudění:** jsou v každém ze čtyř po sobě jdoucích dnů dosahovány v době oslunění fasády, ale maximální hodnoty oslunění fasády (W/m<sup>2</sup>) nezaručují v absolutních hodnotách dosažení maximálních hodnot rychlosti proudění (m/s). Zjednodušeně řečeno rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře není přímo úměrná výši sluneční radiace oslunění fasády. Maximálních hodnot sluneční radiace je ve sledovaném období dosaženo v poledních hodinách 24/2 a v této době jsou dosažené rychlosti proudění na nejnižších hodnotách v celé sérii čtyř po sobě jdoucích dnů.

- **Dosažené minimální a maximální hodnoty proudění v době maximálních hodnot oslunění fasády:** min. 0,0853 m/s (24/2 ve 12.00 hodin při oslunění 833 W/m<sup>2</sup>, vnější teplotě -4,8 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 69,8 % a rychlosti větru 2,9 m/s (závětrná strana)) / **max.** 0,5556 m/s (23/2 v 1.00 hodinu v době mimo oslunění fasády, vnější teplotě -0,5 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 96,6 % a rychlosti větru 9,9 m/s (závětrná strana).

- **Minimální hodnoty rychlosti proudění:** jsou v každém ze čtyř po sobě jdoucích dnů dosahovány mimo dobu oslunění fasády a jsou tím nižší, čím vyšší je relativní vlhkost vzduchu vstupujícího do provětrávané mezery a čím četnější je výskyt kolizních projevů kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády a ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře. Zjednodušeně řečeno, vzduch proudící v mezeře se nestačí dostatečně vysušit, je těžší a teplotní pole v kombinaci s parametry vnějšího prostředí a tepelným tokem ze strany interieru nepostačuje k dosažení dostatečně velkého teplotního rozdílu k dosažení vyšších rychlostí proudění vzduchu v provětrávané mezeře. Pozitivní ale je, že i za těchto podmínek vzduch neustále proudí a provětrávaná mezera je z tohoto pohledu v rámci svých možností funkční.

**Závěr:** oslunění fasády jednoznačně podporuje rychlost proudění v mezeře, dosažení maximálních absolutních hodnot rychlosti proudění není přímo úměrné dosažení maximálních absolutních hodnot sluneční radiace. Do hry se tak dostávají i další veličiny, především teplotně-vlhkostní parametry vnějšího vzduchu a pravděpodobně také vliv větru a orientace fasády (závětrná / návětrná strana).

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje:** Příloha 15.

#### **D.1.17/ Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda**

Pro analýzu dlouhodobějšího trendu poměrů v provětrávané mezeře výpočtového modelu obvodového pláště byly dále nahlíženy série několika po sobě jdoucích dnů podobné charakteristiky výpočtových stavů, nebo s trendem k měnícímu se klimatu. Třetí z této série je série pěti po sobě jdoucích mrazivých únorových dnů 23/12 až 27/12, přičemž první tři dny jsou jasné mrazivé dny s převažující přímou složkou slunečního záření a poslední dva dny jsou zatažené s převažující difúzní složkou slunečního záření. Výběr tedy představuje období se změnou počasí, přechod z jasných zimních dnů do období s inverzním počasím.

Z hlediska charakteristiky se jedná o dny, ve kterých po celý den zůstává teplota pod 0 °C, sluneční záření reprezentuje položku přímého slunečního záření ve svých maximech v řádech stovek W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády nebo položku difúzního slunečního záření v řádech desítek

W/m<sup>2</sup> svislé plochy fasády a relativní vlhkost vzduchu v průběhu dne se pohybuje pod hodnotou 90 %. Jedná se o řadu tří zimních jasných mrazivých prosincových dnů, přecházejících do dvou mrazivých prosincových dnů s projevy inverzního počasí.

Z hlediska analýzy vypočtených dat již v tomto případě nebyly nahlíženy pouze hodnoty maximální a minimální, ale jejich kontext v porovnání jednotlivých dnů mezi sebou. Grafické zpracování vypočtených dat i v tomto případě obsahuje:

- **Průběh rychlosti proudění v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění rychlostního pole byly vyznačeny **a/** rychlosti proudění v běžných podmínkách, **b/** rychlosti proudění v období oslunění fasády, **c/** rychlosti proudění při překročení normové hodnoty 90 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **d/** rychlosti proudění při kondenzaci vodní páry na zadním líci obkladu fasády a **e/** rychlosti proudění při kondenzaci vodní páry v proudícím vzduchu uvnitř větrané mezery.

- **Průběh teplot v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění teplotního pole byly zpracovány **a/** vnější teplota, **b/** průměrná teplota v mezeře, **c/** maximální teplota v mezeře, **d/** minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády a **e/** maximální teplota vnitřního líce obkladu fasády.

- **Vlhkost vzduchu v prostředí provětrávané mezery:** pro znázornění průběhu relativní vlhkosti v provětrávané mezeře výpočtového modelu byly zpracovány **a/** křivka minimální relativní vlhkosti v provětrávané mezeře a **b/** křivka maximální relativní vlhkosti v provětrávané mezeře.

U obou těchto křivek jsou vyznačeny: **a/** hodnoty relativní vlhkosti v běžných normových podmínkách, **b/** hodnoty relativní vlhkosti při překročení normové indikativní hodnoty 90 % relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **c/** hodnoty relativní vlhkosti při oslunění fasády, **d/** hodnoty relativní vlhkosti při oslunění fasády a zároveň překračující normovou indikativní hodnotu 90% relativní vlhkosti proudícího vzduchu, **e/** hodnoty relativní vlhkosti při výskytu kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády a **f/** hodnoty relativní vlhkosti při výskytu kondenzace v proudícím vzduchu v prostředí provětrávané mezery.

- **Průběh slunečního záření (den) / tepelného toku mezi fasádou a oblohou (noc):** sluneční záření a jeho hodnoty jsou uvedeny bez rozdílu mezi difúzním a přímým zářením, pro průběh oslunění fasády v sérii dnů jde spíše o rychlost nárůstu slunečního záření v průběhu dne. Tepelný tok mezi fasádou a oblohou je v souladu s kapitolou D.1/ Výpočtový model, odst. e/ Hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou uvedena jednotně průměrnou hodnotou -28,2 W/m<sup>2</sup>.

Hodnoty výpočtových stavů a jejich výsledků v sérii prosincových mrazivých dnů 22/12 až 26/12 jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 23), vyznačené hodnoty reprezentují maxima / minima vybraných kategorií:

PROSINEC - SÉRIE MRAZIVÝCH DNŮ 22 AŽ 26/12 - JIŽNÍ FASÁDA																		
Den	Měsíc	Hodina	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Období záření přepočítané vstřížím	Rychlost větru	Směr větru	Tep. tok fasáda x obloha NOC	Prům. teplota v mezeře	Min. teplota v mezeře	Max. teplota v mezeře	Prům. rychlost proudění v mezeře	Min. teplota vnitř. loce obkladu	Max. teplota vnitř. loce obkladu	Min. vlhkost vzduchu v mezeře	Max. vlhkost vzduchu v mezeře	Kondenzace na vnitřím líci obkladu	Kondenzace v mezeře
			°C	%	W/m²	m/s	°	W/m²	°	°	°	m/s	°	°	%	%	ano/ne	ano/ne
22	12	0	3,6	77,2	0	8,90	260	-28,2	3,59	3,59	3,6	0,4992	2,75	2,76	77,2	77,6	ne	ne
22	12	1	2	83,1	0	5,90	260	-28,2	2,03	2	2,05	0,33	1,16	1,17	83,1	83,3	ne	ne
22	12	2	1,8	84,3	0	6,90	260	-28,2	1,83	1,8	1,85	0,3864	0,96	0,97	84,3	84,4	ne	ne
22	12	3	1,7	84,1	0	6,90	260	-28,2	1,73	1,7	1,75	0,3864	0,86	0,88	84,1	84,2	ne	ne
22	12	4	1,6	84,1	0	5,90	250	-28,2	1,64	1,6	1,66	0,33	0,76	0,78	84,1	84,2	ne	ne
22	12	5	1,3	86,6	0	6,90	240	-28,2	1,34	1,3	1,37	0,3864	0,46	0,48	86,6	86,6	ne	ne
22	12	6	1,2	83,6	0	7,90	250	-28,2	1,24	1,2	1,27	0,4429	0,36	0,38	83,6	83,6	ne	ne
22	12	7	1,4	83,8	0	7,90	240	-28,2	1,43	1,4	1,46	0,4429	0,56	0,58	83,8	83,8	ne	ne
22	12	8	1,1	84,8	0	7,90	240	-28,2	1,14	1,1	1,17	0,4429	0,26	0,28	84,7	84,8	ne	ne
22	12	9	0,5	88,9	54	6,90	310	54	1,61	0,5	2,46	0,39	2,11	2,72	77,7	88,9	ne	ne
22	12	10	1,4	80,9	74	4,90	270	74	3,17	1,4	4,36	0,2685	3,61	4,54	66,1	80,9	ne	ne
22	12	11	1,4	77,9	175	4,90	260	175	4,91	1,4	7,26	0,2636	6,62	8,46	52,1	77,9	ne	ne
22	12	12	1,5	79,4	56	4,90	270	56	2,96	1,5	3,95	0,2693	3,17	3,94	67,3	79,4	ne	ne
22	12	13	2	76,1	600	6,90	270	600	9,7	2	15,67	0,3735	17,95	23,26	30,6	76,1	ne	ne
22	12	14	2,4	68,5	856	5,90	280	856	15,08	2,4	24,35	0,3021	25,15	33,68	16,8	68,5	ne	ne
22	12	15	2,2	68,1	518	5,90	280	518	9,86	2,2	15,51	0,3131	15,97	21,14	28,1	68,1	ne	ne
22	12	16	0,9	73,8	7	4,90	280	7	1,55	0,9	1,99	0,2716	1,11	1,45	68,9	73,8	ne	ne
22	12	17	-1	93	0	4,90	350	-28,2	-0,89	-1	-0,81	0,2731	-1,84	-1,78	92,3	93	ano	ne
22	12	18	-1,5	94,5	0	2,90	300	-28,2	-1,33	-1,5	-1,24	0,1596	-2,34	-2,26	93,7	94,5	ano	ne
22	12	19	-1,5	92,7	0	5,90	330	-28,2	-1,39	-1,5	-1,31	0,3296	-2,34	-2,28	91,9	92,7	ano	ne
22	12	20	-2,2	94,2	0	4,90	340	-28,2	-2,06	-2,2	-1,96	0,273	-3,04	-2,97	93,1	94,2	ano	ne
22	12	21	-3,2	89,6	0	4,90	310	-28,2	-3,03	-3,2	-2,91	0,2729	-4,04	-3,95	88,4	89,6	ne	ne
22	12	22	-2,7	92	0	3,90	300	-28,2	-2,52	-2,7	-2,4	0,2163	-3,54	-3,45	90,8	92	ne	ne
22	12	23	-2,9	91,8	0	5,90	330	-28,2	-2,76	-2,9	-2,66	0,3295	-3,74	-3,66	90,7	91,8	ne	ne
23	12	0	-3,5	91,5	0	4,90	310	-28,2	-3,32	-3,5	-3,2	0,2729	-4,34	-4,25	90,2	91,5	ne	ne
23	12	1	-3,6	87,2	0	3,90	310	-28,2	-3,39	-3,6	-3,26	0,2162	-4,44	-4,33	85,9	87,2	ne	ne
23	12	2	-4	91,1	0	4,90	310	-28,2	-3,81	-4	-3,68	0,2728	-4,84	-4,74	89,6	91,1	ne	ne
23	12	3	-5,6	78,9	0	4,90	320	-28,2	-5,37	-5,6	-5,21	0,2727	-6,44	-6,32	77,5	78,9	ne	ne
23	12	4	-5,8	76,3	0	3,90	310	-28,2	-5,52	-5,8	-5,35	0,2159	-6,64	-6,5	74,9	76,3	ne	ne
23	12	5	-4,7	90,7	0	2,90	300	-28,2	-4,41	-4,7	-4,26	0,159	-5,54	-5,4	89	90,7	ne	ne
23	12	6	-4,8	81,4	0	5,90	310	-28,2	-4,62	-4,8	-4,48	0,3294	-5,64	-5,54	80,1	81,4	ne	ne
23	12	7	-6,6	82,9	0	3,90	310	-28,2	-6,3	-6,6	-6,11	0,2158	-7,44	-7,29	81,1	82,9	ne	ne
23	12	8	-8,3	80	0	3,90	300	-28,2	-7,95	-8,3	-7,73	0,2156	-9,14	-8,96	78	80	ne	ne
23	12	9	-9,9	84,6	8	3,90	290	8	-8,81	-9,9	-8,13	0,2128	-9,56	-9,1	74,4	84,6	ne	ne
23	12	10	-7,9	80,6	436	2,90	250	436	6,76	-7,9	11,29	0,0787	5,11	11,13	20,6	80,6	ne	ne
23	12	11	-7,5	78,1	587	3,90	280	587	5,8	-7,5	13,47	0,1633	8,1	16,25	17,2	78,1	ne	ne
23	12	12	-6,3	69,4	660	2,90	280	660	17,45	-6,3	22,19	0,0468	11,24	22,31	11,2	69,4	ne	ne
23	12	13	-5,2	71,8	662	2,90	280	662	16,68	-5,2	23,3	0,0458	12,39	23,47	11,5	71,8	ne	ne
23	12	14	-4,2	62,2	592	0,90	240	592	10,19	-4,2	17,83	0,143	11,53	20,1	13,8	62,2	ne	ne
23	12	15	-4,8	65,1	447	0,90	280	447	7,57	-4,8	13,27	0,128	8,53	14,21	18,4	65,1	ne	ne
23	12	16	-6,4	66,7	54	0,90	260	54	-2,95	-6,4	-2,43	0,0401	-4,79	-3,54	51,1	66,7	ne	ne
23	12	17	-7,7	71,9	0	1,90	190	-28,2	-7,21	-7,7	-7,02	0,1004	-8,54	-8,33	71,6	71,9	ne	ne
23	12	18	-8,5	73,3	0	1,90	210	-28,2	-7,97	-8,5	-7,77	0,1001	-9,34	-9,11	71,6	73,3	ne	ne
23	12	19	-8,5	73,3	0	3,90	170	-28,2	-8,14	-8,5	-7,92	0,2156	-9,34	-9,16	71,6	73,3	ne	ne
23	12	20	-10,6	80	0	3,90	210	-28,2	-10,18	-10,6	-9,92	0,2153	-11,44	-11,23	77,6	80	ne	ne
23	12	21	-11,5	87	0	3,90	210	-28,2	-11,05	-11,5	-10,77	0,2152	-12,34	-12,11	84	87	ne	ne
23	12	22	-11,7	86,4	0	3,90	220	-28,2	-11,25	-11,7	-10,96	0,2152	-12,54	-12,31	83,4	86,4	ne	ne
23	12	23	-10,9	87,5	0	2,90	190	-28,2	-10,39	-10,9	-10,11	0,1578	-11,74	-11,49	84,6	87,5	ne	ne
24	12	0	-10,9	87,5	0	3,90	180	-28,2	-10,48	-10,9	-10,21	0,219	-11,74	-11,52	84,6	87,5	ne	ne
24	12	1	-11,7	90,9	0	3,90	200	-28,2	-11,25	-11,7	-10,97	0,2191	-12,54	-12,31	87,6	90,9	ne	ne
24	12	2	-12	86,4	0	2,90	240	-28,2	-11,46	-12	-11,16	0,1636	-12,84	-12,58	83,5	86,4	ne	ne
24	12	3	-11	87,5	0	3,90	180	-28,2	-10,57	-11	-10,3	0,219	-11,84	-11,62	85,1	87,5	ne	ne
24	12	4	-11,8	90,9	0	4,90	190	-28,2	-11,41	-11,8	-11,14	0,275	-12,64	-12,44	87,7	90,9	ne	ne
24	12	5	-12,2	90,5	0	2,90	220	-28,2	-11,65	-12,2	-11,35	0,1637	-13,04	-12,77	87,2	90,5	ne	ne

24	12	6	-12	86.4	0	3.90	200	-28.2	-11.54	-12	-11.25	0.2191	-12.84	-12.61	83.4	86.4	ne	ne
24	12	7	-11.4	82.6	0	4.90	180	-28.2	-11.02	-11.4	-10.76	0.275	-12.24	-12.04	80	82.6	ne	ne
24	12	8	-11.3	87	0	3.90	180	-28.2	-10.86	-11.3	-10.59	0.219	-12.14	-11.92	84.1	87	ne	ne
24	12	9	-11.9	81.8	45	2.90	190	45	-9.81	-11.9	-8.62	0.1723	-10.56	-9.53	63.8	81.8	ne	ne
24	12	10	-10.3	80	553	0.90	190	553	3.3	-10.3	10.6	0.1584	6.2	12.76	16.8	80	ne	ne
24	12	11	-7.5	71.9	704	1.90	160	704	6.82	-7.5	15.73	0.1913	11.21	20.24	13.7	71.9	ne	ne
24	12	12	-6.6	68.6	781	1.90	160	781	8.9	-6.6	18.67	0.1968	14.16	23.98	11.8	68.6	ne	ne
24	12	13	-5.9	67.6	783	1.90	160	783	9.64	-5.9	19.42	0.1967	14.91	24.75	11.8	67.6	ne	ne
24	12	14	-4.9	66.7	708	0.90	170	708	10.62	-4.9	19.66	0.1688	13.92	23.46	12.5	66.7	ne	ne
24	12	15	-5.4	69.2	559	1.90	140	559	6.62	-5.4	13.85	0.1792	9.46	16.94	17.7	69.2	ne	ne
24	12	16	-6.4	66.7	48	1.90	170	48	-4.02	-6.4	-2.97	0.1212	-4.97	-3.89	52.1	66.7	ne	ne
24	12	17	-7.7	71.9	0	2.90	160	-28.2	-7.31	-7.7	-7.09	0.1627	-8.54	-8.35	70.4	71.9	ne	ne
24	12	18	-10.1	80.8	0	0.00	0	-28.2	-9.31	-10.1	-9.23	0.0286	-10.94	-10.67	78.6	91.9	ano	ne
24	12	19	-10	84.6	0	1.90	180	-28.2	-9.42	-10	-9.19	0.1085	-10.84	-10.59	82	84.6	ne	ne
24	12	20	-9.6	74.1	0	2.90	170	-28.2	-9.14	-9.6	-8.89	0.1631	-10.44	-10.22	72.2	74.1	ne	ne
24	12	21	-11.8	72.7	0	2.90	200	-28.2	-11.26	-11.8	-10.97	0.1636	-12.64	-12.38	70.6	72.7	ne	ne
24	12	22	-10.1	80.8	0	3.90	190	-28.2	-9.7	-10.1	-9.44	0.2189	-10.94	-10.74	78.4	80.8	ne	ne
24	12	23	-10.3	80	0	3.90	200	-28.2	-9.89	-10.3	-9.64	0.2189	-11.14	-10.93	77.6	80	ne	ne
25	12	0	-10.8	75	0	3.90	220	-28.2	-10.38	-10.8	-10.11	0.219	-11.64	-11.43	72.9	75	ne	ne
25	12	1	-11	75	0	3.90	210	-28.2	-10.57	-11	-10.3	0.219	-11.84	-11.62	72.8	75	ne	ne
25	12	2	-11.7	81.8	0	1.90	180	-28.2	-11.05	-11.7	-10.78	0.109	-12.54	-12.25	79.1	81.8	ne	ne
25	12	3	-11.5	78.3	0	2.90	210	-28.2	-10.97	-11.5	-10.69	0.1635	-12.34	-12.09	75.9	78.3	ne	ne
25	12	4	-10	76.9	0	4.90	200	-28.2	-9.66	-10	-9.42	0.2748	-10.84	-10.66	74.8	76.9	ne	ne
25	12	5	-8.6	79.3	0	4.90	210	-28.2	-8.29	-8.6	-8.08	0.2747	-9.44	-9.28	77.3	79.3	ne	ne
25	12	6	-7.3	69.7	0	3.90	210	-28.2	-6.98	-7.3	-6.78	0.2185	-8.14	-7.98	68.4	69.7	ne	ne
25	12	7	-6.9	70.6	0	2.90	180	-28.2	-6.53	-6.9	-6.34	0.1626	-7.74	-7.56	69.3	70.6	ne	ne
25	12	8	-6.8	70.6	0	2.90	180	-28.2	-6.44	-6.8	-6.24	0.1626	-7.64	-7.47	69.3	70.6	ne	ne
25	12	9	-6.6	74.3	8	1.90	180	8	-5.22	-6.6	-4.63	0.1143	-6.36	-5.74	65.5	74.3	ne	ne
25	12	10	-4.8	65.1	33	2.90	200	33	-3.17	-4.8	-2.27	0.1694	-3.82	-3.02	54.1	65.1	ne	ne
25	12	11	-3.8	58.7	52	2.90	210	52	-1.8	-3.8	-0.69	0.1714	-2.25	-1.27	46.6	58.7	ne	ne
25	12	12	-3.1	57.1	63	3.90	200	63	-1.21	-3.1	0.01	0.2255	-1.22	-0.25	45.1	57.1	ne	ne
25	12	13	-2.8	62	63	2.90	210	63	-0.59	-2.8	0.63	0.1724	-0.92	0.16	48.1	62	ne	ne
25	12	14	-2.3	57.7	53	3.90	220	53	-0.61	-2.3	0.45	0.2245	-0.72	0.14	47.1	57.7	ne	ne
25	12	15	-1.7	55.6	34	3.90	220	34	-0.38	-1.7	0.45	0.2229	-0.69	-0.01	47.7	55.6	ne	ne
25	12	16	-2	54.7	8	3.90	230	8	-1.16	-2	-0.63	0.2208	-1.76	-1.33	49.8	54.7	ne	ne
25	12	17	-2.3	57.7	0	1.90	200	-28.2	-2.06	-2.3	-1.96	0.1059	-3.14	-3.03	57.4	58.4	ne	ne
25	12	18	-1.4	56.4	0	6.90	230	-28.2	-1.31	-1.4	-1.23	0.3866	-2.24	-2.19	56.2	56.4	ne	ne
25	12	19	-0.7	48.3	0	6.90	240	-28.2	-0.62	-0.7	-0.56	0.3866	-1.54	-1.5	48.3	48.3	ne	ne
25	12	20	-0.4	52.5	0	8.90	240	-28.2	-0.34	-0.4	-0.29	0.4994	-1.24	-1.21	52.4	52.5	ne	ne
25	12	21	-0.4	71.2	0	8.90	230	-28.2	-0.34	-0.4	-0.29	0.4994	-1.24	-1.21	71	71.2	ne	ne
25	12	22	-0.5	71.2	0	8.90	220	-28.2	-0.44	-0.5	-0.39	0.4994	-1.34	-1.31	70.9	71.2	ne	ne
25	12	23	-1.3	80.4	0	7.90	230	-28.2	-1.22	-1.3	-1.15	0.443	-2.14	-2.09	79.9	80.4	ne	ne
26	12	0	-1	84.2	0	7.90	230	-28.2	-0.92	-1	-0.86	0.443	-1.84	-1.8	83.7	84.2	ne	ne
26	12	1	-0.7	84.5	0	8.90	230	-28.2	-0.63	-0.7	-0.56	0.4994	-1.54	-1.5	84.1	84.5	ne	ne
26	12	2	-0.5	84.7	0	7.90	230	-28.2	-0.43	-0.5	-0.38	0.443	-1.34	-1.3	84.3	84.7	ne	ne
26	12	3	-0.3	85	0	6.90	230	-28.2	-0.23	-0.3	-0.17	0.3865	-1.14	-1.1	84.6	85	ne	ne
26	12	4	0.1	83.9	0	8.90	240	-28.2	0.15	0.1	0.19	0.4994	-0.74	-0.71	83.7	83.9	ne	ne
26	12	5	0.5	85.7	0	9.90	240	-28.2	0.54	0.5	0.58	0.5558	-0.34	-0.32	85.5	85.7	ne	ne
26	12	6	0.4	87.3	0	7.90	240	-28.2	0.45	0.4	0.49	0.4429	-0.44	-0.41	87.1	87.3	ne	ne
26	12	7	0.7	87.5	0	8.90	230	-28.2	0.74	0.7	0.78	0.4993	-0.14	-0.12	87.4	87.5	ne	ne
26	12	8	1.1	84.8	0	8.90	240	-28.2	1.14	1.1	1.16	0.4993	0.26	0.28	84.7	84.8	ne	ne
26	12	9	1.4	83.8	8	7.90	230	8	1.85	1.4	2.21	0.4442	1.64	1.89	79.4	83.8	ne	ne
26	12	10	1.7	84.1	34	7.90	240	34	2.45	1.7	3.04	0.4451	2.71	3.13	76.8	84.1	ne	ne
26	12	11	2	81.7	52	7.90	240	52	2.95	2	3.7	0.4457	3.55	4.09	72.7	81.7	ne	ne
26	12	12	2.4	80.8	63	7.90	240	63	3.47	2.4	4.32	0.4461	4.28	4.88	70.9	80.8	ne	ne
26	12	13	2.8	80	63	5.90	230	63	4.13	2.8	5.09	0.3345	4.68	5.4	68.5	80	ne	ne
26	12	14	2.8	82.7	53	3.90	230	53	4.35	2.8	5.33	0.2238	4.38	5.17	69.8	82.7	ne	ne
26	12	15	2.7	83.8	34	3.90	220	34	3.9	2.7	4.65	0.2222	3.71	4.33	73.8	83.8	ne	ne
26	12	16	2.2	84.7	8	1.90	190	8	3.23	2.2	3.65	0.1114	2.44	2.89	77.7	84.7	ne	ne
26	12	17	1.3	86.6	0	1.90	170	-28.2	1.38	1.3	1.42	0.1047	0.46	0.5	86.6	87.4	ne	ne
26	12	18	0.9	89.2	0	0.90	170	-28.2	1.03	0.9	1.05	0.0493	0.06	0.11	89.1	91.7	ne	ne
26	12	19	0.6	85.9	0	2.90	150	-28.2	0.7	0.6	0.75	0.1611	-0.24	-0.2	85.8	86.1	ne	ne
26	12	20	0.1	87.1	0	2.90	150	-28.2	0.21	0.1	0.27	0.1612	-0.74	-0.69	86.9	87.1	ne	ne
26	12	21	-0.7	87.9	0	3.90	140	-28.2	-0.58	-0.7	-0.51	0.2175	-1.54	-1.48	87.4	87.9	ne	ne
26	12	22	-0.1	86.9	0	3.90	150	-28.2	0	-0.1	0.06	0.2174	-0.94	-0.89	86.6	86.9	ne	ne
26	12	23	-0.1	83.6	0	2.90	160	-28.2	0.02	-0.1	0.08	0.1612	-0.94	-0.88	83.3	83.6	ne	ne
																	6%	0,00%

Tab. 23 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: série prosincových mrazivých dnů – 22. až 26. prosinec – jižní fasáda.

## **Komentář k vybraným korelacím klimatických dat a vypočtených hodnot:**

### **Korelace teplotního pole v prostředí provětrávané mezery a průběhu oslunění fasády:**

**a/ průběh teplotního pole v denním období:** odpovídá průběhu oslunění fasády. S rostoucími hodnotami sluneční radiace ( $W/m^2$ ) roste jak průměrná, tak maximální teplota v provětrávané mezeře i minimální a maximální teploty vnitřního líce obkladu fasády.

**b/ Průběh teplotního pole v noci:** sleduje průběh vnější teploty. Nejvyšších hodnot dosahuje v důsledku teplotního toku z interiérové strany konstrukce maximální teplota v provětrávané mezeře. Hodnoty minimální a maximální teploty vnitřního líce obkladu zůstávají pod křivkou průběhu vnější teploty.

**c/ Diference teplot:** pro konstrukční a materiálové řešení fasády hrají důležitou úlohu nejenom absolutní hodnoty konkrétních teplotních křivek, ale i diference teplotního pole.

**c.1/ Diference teplot v nočním období:** zatímco diference v denním období s převažující složkou přímého slunečního záření dosahují až dvouciferných hodnot, diference v nočním období bez vlivu oslunění s vlivem záporného teplotního toku mezi fasádou a noční oblohou a v denním období s převažující složkou difúzního slunečního záření, dosahují rozdílů v řádech jednotek stupňů, a to jak mezi jednotlivými křivkami teplotního pole výpočtového modelu fasády, tak i vůči křivce teploty vnějšího prostředí, jejíž trend je jednotlivými křivkami jednoznačně sledován. K nárůstům k maximálním hodnotám s vlivem přímé složky slunečního záření dochází ruku v ruce s nárůsty hodnot sluneční radiace, a to v řádu několika málo hodin, stejně jako při poklesu hodnot po západu Slunce.

**c.2/ Diference teplotního pole v denním období:** stejně jako v případě absolutních hodnot průběhu teplot v prostředí provětrávané mezery jsou hodnoty sluneční radiace v jasné korelaci s hodnotami diferencí teplotního pole. Tato korelace se ovšem v této sérii dnů výrazně projevuje pouze v případě 22/12 až 24/12, tedy ve dnech s převažující přímou složkou slunečního záření. Ve dnech 25/12 a 26/12, kdy se uplatňuje pouze složka difúzního slunečního záření, je diference teplotního pole řádově menší, maximálně do  $3^{\circ}C$ . S rostoucími hodnotami přímé složky slunečního záření rostou i velikosti diferencí nejen mezi minimálními a maximálními hodnotami té které křivky, ale i velikosti diferencí mezi křivkami teplotního pole výpočtového modelu a křivkou vnější teploty a mezi křivkami teplotního pole v noci (bez vlivu radiace) a ve dne (s vlivem radiace). V prvních třech dnech sledované série je velikost diferencí téměř stejná, k nejvyšším diferencím

dochází v prvním dni sledované série prosincových mrazivých dnů, tedy 22/2, kdy jsou hodnoty přímého slunečního záření nejvyšší (856 W/m<sup>2</sup> ve 14.00 hodin). Jedná se o den, kdy dochází ke změně počasí z mírně nadnulových teplot do mrazivých dnů:

- **Vnější teplota:** +2,4 °C

- **Maximální teplota vnitřního líce obkladu fasády:** +33,68 °C (+31,28 °C nad vnější teplotou).

- **Minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády:** +25,15 °C (+22,75 °C nad vnější teplotou a 8,53 °C pod maximální teplotou vnitřního líce obkladu fasády. Je-li minimální teplota vnitřního líce obkladu fasády předpokládána u vstupního otvoru napojení provětrávané mezery na vnější prostředí, potom na výšku výpočtového modelu / cca jednoho podlaží dochází k ohřevu obkladu fasády o 8,53 °C.)

- **Maximální teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** +24,35 °C (+21,95 °C nad vnější teplotou a o 0,8 °C pod maximální teplotou dosaženou na vnitřním líci obkladu fasády).

- **Průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře:** +15,08 °C (+12,68 °C nad vnější teplotou). Vzhledem k tomu, že se jedná o teplotu průměrnou, není nutno její hodnotu porovnávat s dalšími absolutními hodnotami teplotního pole. Zanedbatelný ovšem není fakt, že pro účely energetických a tepelně-technických výpočtů by konstrukce jako celek byla dle Tab. H.2/ ČSN 73 0540-3 hodnocena a navrhována na normovou vnější teplotu  $\theta_e = -13$  °C (průměrná teplota vzduchu v provětrávané mezeře, a tedy teplota na vnějším líci tepelné izolace hodnocené konstrukce, je však o 28,08 °C vyšší). Jedná se však o velmi krátkodobý vliv v řádu několika poledních hodin v každém z hodnocených dnů.

- **Minimální teplota v provětrávané mezeře:** není v příslušném grafu zobrazena, v podstatě se jedná o teplotu vnějšího prostředí, která v dolní části výpočtového modelu vstupuje do prostředí provětrávané mezery.

- **Maximální hodnoty teplotního pole v celé sérii sledovaných dnů:** v prvních třech po sobě jdoucích dnech s převažující složkou přímého slunečního záření jsou dosažené rozdíly maximálních hodnot v řádu jednotek stupňů, do 10 °C. Ke změně dochází mezi třetím a čtvrtým dnem (v období změny počasí z jasného mrazivého dne do dne s inverzním počasím, a tedy převažující difúzní složkou slunečního záření), kdy je rozdíl v maximálních hodnotách teplotního pole 24,59 °C. Do posledního dne se pak maximální hodnoty teplotního pole vyrovnávají opět v řádech jednotek stupňů, do 5 °C. Rozdíly maximálních hodnot teplotního pole korelují s průběhem oslunění fasády, buď přímou nebo difúzní složkou slunečního záření.

## **Korelace vlhkostního pole v prostředí provětrávané mezery a průběhu oslunění fasády:**

**a/ průběh vlhkostního pole v denním období:** odpovídá průběhu oslunění fasády a průběhu pole teplotního, a to jak ve dnech s převažující přímou složkou slunečního záření, tak ve dnech s převažující difúzní složkou slunečního záření. S rostoucími hodnotami sluneční radiace ( $W/m^2$ ) a teplotního pole ( $^{\circ}C$ ) se zvětšuje diference mezi křivkou znázorňující minimální relativní vlhkost vzduchu v provětrávané mezeře a křivkou znázorňující maximální relativní vlhkost vzduchu v provětrávané mezeře v té které konkrétní hodině. Zjednodušeně řečeno dochází k vysoušení vzduchu proudícího v provětrávané mezeře a ke kompletnímu vymizení kolizních jevů souvisejících s výskytem kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády a ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře, a to včetně varovného stavu dosažení hodnoty relativní vlhkosti vzduchu v prostředí větrané mezery  $\varphi_{cv} < 90\%$  dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2.

**b/ Průběh teplotního pole v noci:** v období mimo oslunění fasády dochází velmi rychle k přiblížení obou vlhkostních křivek. Rozdíl v absolutních hodnotách minimální a maximální relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře je v řádech pouhých jednotek procent, kvalita vzduchu v provětrávané mezeře se z pohledu změny jeho relativní vlhkosti po výšce výpočtového modelu téměř nemění. Prostředí provětrávané mezery je konfrontováno se vzduchem do mezery vstupujícím a hodnotami jeho relativní vlhkosti, která je v daném období poměrně vysoká. Četnost kolizních jevů (dosažení varovného stavu  $\varphi_{cv} < 90\%$  dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2), výskyt kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády (pouze v 6 % doby všech pěti po sobě jdoucích dnů) je nízká. K výskytu kondenzace ve vzduchu proudícím v provětrávané mezeře nedochází vůbec.

**c/ Diference hodnot relativní vlhkosti:** pro konstrukční a materiálové řešení fasády hrají důležitou úlohu nejenom absolutní hodnoty konkrétních vlhkostních křivek, ale i jejich vzájemná diference.

**c.1/ Diference vlhkostního pole v nočním období:** zatímco diference v denním období dosahují hodnot v řádech několika desítek procent ve dnech s převažující přímou složkou slunečního záření a desítek procent ve dnech s převažující difúzní složkou slunečního záření, diference v nočním období bez vlivu oslunění a s vlivem záporného teplotního toku mezi fasádou a noční oblohou, dosahují rozdílů v řádech jednotek procent, a to jak mezi jednotlivými křivkami vlhkostního pole výpočtového modelu fasády, tak i s ohledem na absolutní hodnoty relativní vlhkosti vnějšího vzduchu v té které hodině. K nárůstům k maximálním hodnotám diferencí



s vlivem sluneční radiace dochází ruku v ruce s nárůsty hodnot sluneční radiace, a to v řádu několika málo hodin, stejně jako při poklesu hodnot po západu Slunce.

**c.2/ Diference vlhkostního pole v denním období:** stejně jako v případě absolutních hodnot průběhu vlhkostních křivek v prostředí provětrávané mezery jsou hodnoty sluneční radiace v jasné korelaci s hodnotami diferencí vlhkostního pole. S rostoucími hodnotami slunečního záření rostou i velikosti diferencí nejen mezi minimálními maximálními a maximálními hodnotami té které křivky, ale i velikosti diferencí mezi křivkami vlhkostního pole výpočtového modelu a absolutními hodnotami relativní vlhkosti vnějšího vzduchu. K nejvyšším diferencím dochází ve druhém dni sledované série prosincových mrazivých dnů, tedy 23/12, kdy ale nejsou hodnoty přímého slunečního záření nejvyšší (662 W/m<sup>2</sup> ve 13.00 hodin):

- **Relativní vlhkost vnějšího vzduchu:** 63,6%

- **Maximální hodnota relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře:** 71,8 % (do provětrávané mezery vstupuje vnější vzduch).

- **Minimální hodnota relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře:** 11,5 % (v této hodině dojde na výšku výpočtového modelu 3 m k vysušení vzduchu proudícího v provětrávané mezeře až o 60,3 %).

- **Maximální hodnoty diferencí vlhkostního pole v celé sérii sledovaných dnů:** ve třech po sobě jdoucích dnech s převažující přímou složkou slunečního záření jsou dosažené rozdíly vlhkostních křivek vždy v řádech několika desítek procent: 22/12... Δ51,3 %, 23/12... Δ60,3 % a 24/12... Δ56,8 %. K výrazné změně diferencí dochází ve dnech s převažující difúzní složkou slunečního záření: 25/12... Δ7 % a 26/12... Δ11,5 %. Zjednodušeně řečeno, provětrávaná mezera obvodového pláště plní s podporou sluneční radiace svou očekávanou funkci velmi dobře v jasných dnech, ve dnech zatažených je funkce provětrávané mezery sice zachována, ale je v podstatě na hranici svých možností a v těchto dnech velmi záleží na relativní vlhkosti vnějšího vzduchu, který do provětrávané mezery vstupuje.

**Korelace rychlosti proudění v prostředí provětrávané mezery a dalších navazujících jevů (kvalita vnějšího prostředí vč. oslunění fasády / teplotní pole provětrávané mezery / vlhkostní pole provětrávané mezery):** po celou dobu všech pěti po sobě jdoucích mrazivých prosincových dnů vzduch v provětrávané mezeře proudí nadnulovou rychlostí, nicméně podobnost absolutních hodnot rychlosti proudění nelze jednoznačně vztáhnout k faktu převažující složky přímého nebo difúzního slunečního záření.

- **Maximální hodnoty rychlosti proudění:** nejsou v každém z pěti po sobě jdoucích dnů dosahovány v době oslunění fasády, maximální hodnoty oslunění fasády ( $W/m^2$ ) nezaručují v absolutních hodnotách dosažení maximálních hodnot rychlosti proudění ( $m/s$ ). Zjednodušeně řečeno rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře není přímo úměrná výši sluneční radiace oslunění fasády. Maximálních hodnot sluneční radiace je ve sledovaném období dosaženo v poledních hodinách 22/12, ale typičtějším úsekem jsou polední hodiny 24/12, kdy jsou dosažené rychlosti proudění na průměrných hodnotách v celé sérii pěti po sobě jdoucích dnů a v podstatě srovnatelné s hodnotami rychlosti proudění v následujícím dni, ve kterém se však uplatňuje pouze difúzní složka slunečního záření.

- **Maximální hodnota rychlosti proudění:** 0,5558  $m/s$  (26/12 v 5.00 hodin mimo dobu oslunění fasády, při vnější teplotě 0,5 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 85,7 % a rychlosti větru 9,9  $m/s$  (návětrná strana)).

- **Dosažené minimální a maximální hodnoty proudění v době maximálních hodnot oslunění fasády přímou složkou slunečního záření:** **min.** 0,0458  $m/s$  (23/12 ve 13.00 hodin při oslunění 833  $W/m^2$ , vnější teplotě -5,2 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 71,8 % a rychlosti větru 2,9  $m/s$  (závětrná strana)) / **max.** 0,3021  $m/s$  (22/12 ve 14.00 hodin při oslunění 856  $W/m^2$ , vnější teplotě +2,4 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 68,5 % a rychlosti větru 5,9  $m/s$  (závětrná strana). **Dosažené minimální a maximální hodnoty proudění v době maximálních hodnot oslunění fasády difúzní složkou slunečního záření:** **min.** 0,1724  $m/s$  (25/12 ve 13.00 hodin při oslunění 63  $W/m^2$ , vnější teplotě -2,8 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 62 % a rychlosti větru 2,9  $m/s$  (návětrná strana)) / **max.** 0,4461  $m/s$  (26/12 ve 12.00 hodin při oslunění 63  $W/m^2$ , vnější teplotě +2,4 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 80,8 % a rychlosti větru 7,9  $m/s$  (závětrná strana).

- **Minimální hodnota rychlosti proudění:** této hodnoty 0,0286  $m/s$  je dosaženo mimo dobu oslunění fasády (24/12 v 18.00 hodin při vnější teplotě -10,1 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 80,8 % a rychlosti větru 0  $m/s$ ) a v podstatě se jedná o hodnotu srovnatelnou s minimální hodnotou rychlosti proudění 0,0458  $m/s$  v době oslunění fasády přímou složkou slunečního záření za jasného mrazivého dne (23/12 ve 13.00 hodin při oslunění 662  $W/m^2$ , vnější teplotě -5,2 °C, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu 71,8 % a rychlosti větru 2,9  $m/s$  (návětrná strana)).

**Závěr:** oslunění fasády jednoznačně podporuje rychlost proudění v mezeře, dosažení maximálních absolutních hodnot rychlosti proudění ale není přímo úměrné dosažení maximálních absolutních hodnot sluneční radiace. Do hry se tak dostávají i další veličiny, především teplotně-

vlhkostní parametry vnějšího vzduchu a pravděpodobně také vliv větru a orientace fasády (závětrná / návětrná strana).

**Průběhy vybraných vypočtených veličin zobrazuje: Příloha 16.**

## **E/ ZÁVĚRY PRO PRAXI A DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST**

### **E.1/ SPLNĚNÍ CÍLŮ A ZÁVĚRY PRO PRAXI**

Cíle předkládané práce jsou vytčeny v kapitole A.2.1/ Specifikace cílů práce. V následujícím textu je zhodnoceno jejich splnění:

**Cíl 1:** prověřit metodiku zjištění stavebně fyzikálních parametrů v prostředí větrané mezery obecné provětrávané fasády s velkoplošným obkladem v podrobnějších okrajových podmínkách klimatických dat odpovídajících konkrétní pozici fasády a její orientace vůči světovým stranám, a to s použitím běžných nástrojů aktuálně k použití v projekční praxi nabízených, byť třeba nástrojů z příbuzných nebo navzájem nesouvisajících oborů. Snažit se o vytvoření takové metodiky, která by byla univerzálně použitelná i pro jiná materiálová a konstrukční řešení vnějšího pláště provětrávané fasády, jinou polohu stavby a jiné roční období.

#### **Zhodnocení splnění:**

- Pro účely analýzy stavebně fyzikálních parametrů v prostředí větrané mezery nejběžnější tloušťky 40 mm, obecné provětrávané fasády byl vytvořen výpočtový model fasády s velkoplošným obkladem z vláknocementových fasádních desek Cembrit Solid a vnitřním pláštěm s nosnou vrstvou zdiva z novodobých keramických zdících materiálů v ref. standardu keramických zdících prvků Porotherm. Výška konstrukce ve výpočtovém modelu byla zvolena na výšku cca jednoho podlaží, tedy 3 m. Z hlediska orientace fasády vůči světovým stranám byla analyzována fasáda prioritně orientovaná na jih (v důsledku jejího hodnocení s vlivem oslunění fasády), pro vybrané výpočtové stavy byly analyzovány i fasády východní a západní. Vliv stínění fasády okolní zástavbou, zelení a tvarováním terénu byl zanedbán.

- Konkrétní pozice fasády je reprezentována databází referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782.

- Pro účely výpočtu parametrů v prostředí provětrávané mezery obvodového pláště byly využity nástroje běžně používané v projekční praxi: výpočetní programy TEPLO 2017, MEZERA 2017 a FOTVOLTAIKA 2017 K-CAD s.r.o., popřípadě předprogramované pomocné výpočty a materiálové katalogy těchto programů.

- S pomocí výše uvedených nástrojů byla vytvořena univerzální metodika analýzy poměrů v prostředí provětrávané mezery obecné konstrukce obvodového pláště s vlivem sluneční radiace, osazeného v konkrétní pozice, obecně orientovaného vůči světovým stranám.

- Tuto metodiku lze použít univerzálně, pro libovolnou skladbu konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou libovolné tloušťky, libovolně orientovanou vůči světovým stranám, v libovolné pozici, v libovolném sklonu k horizontální rovině a v libovolném ročním období. Podmínkou je získání databáze klimatických dat referenčního klimatického roku v dané pozici.

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo.

**Cíl 2:** pro účel vytvoření metodiky kategorizovat klimatické podmínky z pohledu definice typových dnů v zimním období.

### Zhodnocení splnění:

- klimatické podmínky vnějšího prostředí v zimním období, které bylo předmětem analýzy, byly kategorizovány do náležitého počtu výpočetních stavů v závislosti na teplotě vnějšího vzduchu, globálním slunečním záření a relativní vlhkosti vnějšího vzduchu dle níže uvedené tabulky (Tab. 24):

PŘEHLED VÝPOČTOVÝCH STAVŮ - VÝBĚR Z REFERENČNÍHO KLIMATICKÉHO ROKU										
Měsíc	Den	Charakteristika dne	Orientace fasády	Teplota vzduchu		Globální záření		Relativní vlhkost vzduchu		Poznámka
				min	max	min	max	min	max	
				(°C)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> )	(%)	(%)	
XI	20.X I	teplý zatažený den	jih	-0,8	4,2	4	25	87,5	96,6	zvýšená vlhkost
	21.X I	teplý polojasný den	jih	0,4	5,3	12	566	60,7	90,1	
	27.X I	chladný zatažený den	jih	-0,3	1,9	5	29	88,7	96,9	zvýšená vlhkost
	28.X I	studený zatažený den	jih	-1,7	-0,1	7	103	85,2	96,6	zvýšená vlhkost
XII	22.X II	teplý polojasný den	jih	-3,2	3,6	7	856	68,1	94,2	vítr min2,9/max8,9 m/s
	23.X II	mrazivý polojasný den	jih	-11,7	-3,5	8	662	65,1	91,5	
	24.X II	mrazivý jasný den	jih	-12	-4,9	45	783	66,7	90,9	
	25.X II	mrazivý zatažený den	jih	-11,7	-0,4	8	63	52,5	81,8	
	26.X II	chladný zatažený den	jih	-1	2,8	8	63	80	89,2	vítr min2,9/max9,9 m/s
I	01.I	teplý zatažený den	jih	1	4,8	4	29	76,5	94,7	
	03.I	teplý oblačný den	jih	7,3	11,8	6	413	70,3	89,5	
	11.I	teplý zatažený den	jih	7,1	10,1	3	24	70,6	86,3	
	14.I	studený jasný den	jih	-7,2	0,7	62	809	54,8	93,8	
	15.I	mrazivý jasný den	jih	-9,6	-1	64	800	49,1	100	pouze 9.00 až 19.00hod
	15.I		dopočet východ			22	475			

	15.I		dopočet západ			19	380			pouze 9.00 až 19.00hod
	16.I	mrazivý jasný den	jih	-7,7	-0,9	42	739	66	100	
	16.I		dopočet východ			20	437			pouze 9.00 až 19.00hod
	16.I		dopočet západ			21	346			pouze 9.00 až 19.00hod
	17.I	mrazivý jasný den	jih	-10,1	-0,4	66	782	59,3	100	
	18.I	mrazivý jasný den	jih	-9,1	1,8	43	947	62,9	100	
	31.I	mrazivý jasný den	jih	-13,5	-4,3	1	813	50	100	
II	23.II	mrazivý polojasný den	jih	-6,4	-0,1	17	555	77,8	98,3	vítr min1,5/max7,9 m/s
	24.II	mrazivý jasný den	jih	-11,3	-4,4	56	833	64,9	100	
	25.II	mrazivý jasný den	jih	-13,7	-2,2	18	779	44,2	94,7	
	26.II	mrazivý jasný den	jih	-7,3	0,2	23	806	63,8	93,5	
	27.II	mrazivý jasný den	jih	-7,5	0,8	17	803	64,6	97,1	

Tab. 24 – Přehled výpočtových stavů – výběr z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo. Jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro hodnocení parametrů prostředí provětrávané mezery obvodového pláště v zimním období s vlivem sluneční radiace, přičemž se jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další případné výpočtové stavy.

**Cíl 3.a:** prověřit míru výskytu kondenzace difundující vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**Cíl 3.b:** prověřit rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na výskyt jevu zkondenzované vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

#### Zhodnocení splnění:

- v každém výpočtovém stavu byla prověřena míra výskytu kondenzace difundující vodní páry na vnitřním povrchu velkoplošného fasádního obkladu vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou

- výskyt kondenzace byl prověřován v hodinových krocích, za konstantních okrajových podmínek parametrů vnitřního prostředí a proměnných okrajových podmínek parametrů prostředí vnějšího (hodinová klimatická data referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782), a to jak pro období bez oslunění fasády, tak pro období s převažující složkou přímého i difúzního slunečního záření

- výskyt kolizních stavů byl specifikován jak v tabulkách jednotlivých výpočtových stavů, tak v grafických výstupech jednotlivých výpočetních stavů a tří sledovaných sérií několika po sobě jdoucích zimních dnů v různých částech sledovaného období

**Závěr:** vytčeného cíle bylo dosaženo. Jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro hodnocení parametrů prostředí provětrávané mezery obvodového pláště v zimním období z hlediska výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády s i bez vlivu sluneční radiace. Z časového hlediska nebylo analyzováno celé předmětné období listopad až únor, nahlíženy byly pouze vybrané typické časové úseky konkrétních výpočtových stavů. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další analyzované časové úseky.

**Cíl 4.a:** prověřit míru výskytu kondenzace difundující vodní páry v proudícím vzduchu v provětrávané mezeře obvodového pláště s velkoplošným obkladem v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**Cíl 4.b:** prověřit rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na výskyt jevu zkondenzované vodní páry v proudícím vzduchu v provětrávané mezeře v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

#### **Zhodnocení splnění:**

- v každém výpočtovém stavu byla prověřena míra výskytu kondenzace difundující vodní páry v proudícím vzduchu v provětrávané mezeře dvouplášťové konstrukce obvodového pláště

- výskyt kondenzace byl prověřován v hodinových krocích, za konstantních okrajových podmínek parametrů vnitřního prostředí a proměnných okrajových podmínek parametrů prostředí vnějšího (hodinová klimatická data referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782), a to jak pro období bez oslunění fasády, tak pro období s převažující složkou přímého i difúzního slunečního záření

- výskyt kolizních stavů byl specifikován jak v tabulkách jednotlivých výpočtových stavů, tak v grafických výstupech jednotlivých výpočetních stavů a tří sledovaných sérií několika po sobě jdoucích zimních dnů v různých částech sledovaného období

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo, jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro hodnocení parametrů prostředí provětrávané mezery obvodového pláště v zimním období z hlediska výskytu kondenzace v proudícím vzduchu provětrávané mezery s i bez vlivu sluneční radiace. Z časového hlediska nebylo analyzováno celé předmětné období

listopad až únor, nahlíženy byly pouze vybrané typické časové úseky konkrétních výpočtových stavů. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další analyzované časové úseky.

**Cíl 5.a:** prověřit rychlosti proudění vzduchu v provětrávané mezeře obvodového pláště s velkoplošným obkladem v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

**Cíl 5.b:** prověřit rozsah vlivu oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou na rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře obvodového pláště s velkoplošným obkladem v rozdílných časových úsecích dne v zimním období.

### **Zhodnocení splnění:**

- v každém výpočtovém stavu byla prověřena rychlost proudění v provětrávané mezeře dvouplášťové konstrukce obvodového pláště

- rychlost proudění byla prověřována v hodinových krocích, za konstantních okrajových podmínek parametrů vnitřního prostředí a proměnných okrajových podmínek parametrů prostředí vnějšího (hodinová klimatická data referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782), a to jak pro období bez oslunění fasády, tak pro období s převažující složkou přímého i difúzního slunečního záření

- rychlost proudění byla specifikována jak v tabulkách jednotlivých výpočtových stavů, tak v grafických výstupech jednotlivých výpočetních stavů a tří sledovaných sérií několika po sobě jdoucích zimních dnů v různých částech sledovaného období

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo, jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro hodnocení parametrů prostředí provětrávané mezery obvodového pláště v zimním období z hlediska rychlosti proudění v provětrávané mezeře s i bez vlivu sluneční radiace. Z časového hlediska nebylo analyzováno celé předmětné období listopad až únor, nahlíženy byly pouze vybrané typické časové úseky konkrétních výpočtových stavů. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další analyzované časové úseky.

**Cíl 6:** prověřit míru výskytu okrajových podmínek vnějšího prostředí, vedoucích ke kondenzaci na vnitřním líci obkladu fasády a uvnitř větrané mezery.



### **Zhodnocení splnění:**

- celé nahlížené zimní období od listopadu do února reprezentuje celkem **120 dnů, tj. 2880 hodin / hodinových dat referenčního klimatického roku**

- **z tohoto období byly provedeny výpočty pro:** 4 vybrané listopadové dny (výpočtové stavy), tj. 96 hodin / 5 vybraných prosincových dnů (výpočtových stavů), tj. 120 hodin / 10 vybraných lednových dnů (výpočtových stavů), tj. 240 hodin / 5 vybraných únorových dnů (výpočtových stavů), tj. 120 hodin = **celkem 24 dnů (výpočtových stavů) / 576 hodin.**

- výpočty a hodnocení výsledků byly provedeny pro 20 % z celkové délky zamýšleného období. Přesto však lze, na základě pečlivého výběru výpočtových stavů podmínek vnějšího prostředí, specifikovat, které z nich mají významný vliv na výskyt kondenzace na vnitřním líci obkladu vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou:

#### **a/ Vliv slunečního záření:**

- oslunění fasády s převažující přímou složkou slunečního záření má jednoznačný vliv na omezení výskytu kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády.

- dochází-li k výskytu kondenzace v období před osluněním fasády, potom k vymizení tohoto jevu postačuje velmi krátký časový úsek, po který dochází k významnému nárůstu od desítek  $W/m^2$  do stovek  $W/m^2$  svislé plochy fasády, tedy časový úsek v řádu jednotek hodin, ve kterých dojde k přechodu od difúzní složky sluneční radiace krátce po východu Slunce k uplatnění složky přímého slunečního záření na dotčené ploše jižní fasády. V případě fasády východní a západní dochází k pouhému fázovému posunu uplatnění dominantní složky přímého slunečního záření v důsledku orientace fasády vůči světovým stranám.

- v odpoledních hodinách, směrem k západu Slunce, dochází v podstatě k opačnému chodu, avšak s mírným fázovým zpožděním, pravděpodobně v důsledku setrvačnosti vnější teploty a na ní navázaných tepelně-vlhkostních charakteristik vnějšího vzduchu vstupujícího do prostředí provětrávané mezery a dynamiky a setrvačnosti teplotní výměny mezi obkladem fasády a prostředím provětrávané mezery.

#### **b/ Vliv tepelného toku mezi fasádou a noční oblohou:**

- záporný tepelný tok mezi povrchem fasády (obkladem fasády) a noční oblohou je v podstatě projevem studeného sálání, tedy odebírání tepla z povrchu fasády. Tento jev ve svém důsledku přispívá k chladnutí obkladu fasády, a tedy i k větší pravděpodobnosti výskytu kondenzace vodní

páry na jeho vnitřním povrchu. Přesto však nelze jednoznačně říci, že mezi těmito jevy existuje přímá úměrnost. Konstrukce obvodového pláště se chová jako otevřený systém s mnoha proměnnými a záleží tak především na jejich vzájemných poměrech.

- jako dominantní se však projevuje vliv relativní vlhkosti vnějšího vzduchu, který vstupuje do prostředí provětrávané mezery v daných okrajových podmínkách. Čím vyšší je relativní vlhkost vnějšího vzduchu, tím je riziko výskytu kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády vyšší. Zjednodušeně řečeno, vzduch proudící v mezeře se nestačí dostatečně vysušit pouhým vlivem tepelného toku z interiéru do exteriéru, teplotní pole v kombinaci s parametry vnějšího prostředí a tepelným tokem ze strany interieru nepostačuje k dosažení dostatečně velkého teplotního rozdílu k dosažení vyšších rychlostí proudění vzduchu a odvětrání difundujících vodních par. Pozitivní však je, že i za těchto podmínek se proudění vzduchu v mezeře nezastavuje, vzduch neustále proudí a provětrávaná mezera je z tohoto pohledu v rámci svých možností funkční.

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo, jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro hodnocení parametrů prostředí provětrávané mezery obvodového pláště v zimním období z hlediska výskytu kolizního jevu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády s i bez vlivu sluneční radiace. Z časového hlediska nebylo analyzováno celé předmětné období listopad až únor, nahlíženy byly pouze vybrané typické časové úseky konkrétních výpočtových stavů. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další analyzované časové úseky.

**7/** Provéřit další možné dopady oslunění vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou a s velkoplošným obkladem vnějšího pláště v rozdílných časových úsecích dne v zimním období (např. rozsah pole teplot velkoplošného obkladu fasády a prostředí větrané mezery, rozdílové hodnoty minim a maxim důležitých charakteristik, maximální dosažené hodnoty vybraných charakteristik apod.).

#### **Zhodnocení splnění:**

- celé nahlížené zimní období od listopadu do února reprezentuje **celkem 120 dnů, tj. 2880 hodin / hodinových dat referenčního klimatického roku**

- **z tohoto období byly provedeny výpočty pro:** 4 vybrané listopadové dny (výpočtové stavy), tj. 96 hodin / 5 vybraných prosincových dnů (výpočtových stavů), tj. 120 hodin / 10 vybraných lednových dnů (výpočtových stavů), tj. 240 hodin / 5 vybraných únorových dnů (výpočtových stavů), tj. 120 hodin = **celkem 24 dnů (výpočtových stavů) / 576 hodin.**

- výpočty a hodnocení výsledků byly provedeny pro 20 % z celkové délky zamýšleného období. Přesto však lze, na základě pečlivého výběru výpočtových stavů podmínek vnějšího prostředí specifikovat, které z nich mají významný vliv na výskyt kondenzace na vnitřním líci obkladu vnějšího pláště dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou:

#### **a/ Orientace fasády:**

Výpočty a následná analýza výsledků byly prováděny prioritně pro fasádu orientovanou na jih. Pro východní a západní fasádu byly provedeny pouze dopočty potvrzující fázový posun odpovídající pohybu Slunce po obloze. Orientace fasády nemá významný vliv na celkové chování konstrukce obvodového pláště. Tento vliv se však může projevit v limitních podmínkách, ve kterých je důležitá absolutní hodnota sluneční radiace ( $W/m^2$ ) a absolutní délka oslunění fasády.

#### **b/ Vliv oslunění fasády na teplotní pole prostředí provětrávané mezery:**

- oslunění fasády a absolutní výška dávek sluneční radiace mají jednoznačný vliv na rozložení teplotního pole prostředí provětrávané mezery

- obecně lze konstatovat, že se vzrůstajícími hodnotami dávek sluneční radiace ( $W/m^2$ ) velmi rychle vzrůstají i hodnoty teplotního pole prostředí provětrávané mezery (průměrná teplota v provětrávané mezeře, maximální teplota v provětrávané mezeře, minimální teplota vnitřního líce obkladu a maximální teplota vnitřního líce obkladu), přičemž nejvyšších hodnot dosahuje maximální teplota vnitřního líce obkladu.

- stejným způsobem se hodnoty teplotního pole chovají i v odpoledních hodinách, kdy dochází k poklesům hodnot dávek sluneční radiace. K vychládání konstrukce dochází prakticky stejně rychle jako dochází v dopoledních hodinách k jejímu zahřívání.

- z hlediska konstrukčního řešení a materiálových charakteristik obkladu fasády a jeho nosného roštu je však důležité sledovat teplotní diference mezi jednotlivými křivkami teplotního pole a vůči křivce průběhu vnější teploty. Tyto diference dosahují vlivem oslunění fasády řádu několika desítek stupňů a k nárůstu teploty dochází poměrně rychle, úměrně nárůstu dávek sluneční radiace. K teplotním diferencím dochází velmi rychle, přímo úměrně nárůstu / poklesu dávek sluneční radiace. Tento jev je důležitý především z hlediska objemových změn vyvolaných v důsledku teplotní roztažnosti materiálu fasádního obkladu a způsobu jeho přikotvení k nosnému roštu (pevné a kluzné body) v kombinaci s formátováním obkladu.

#### **c/ Vliv oslunění fasády na vlhkostní pole prostředí provětrávané mezery:**

- oslunění fasády a absolutní výška dávek sluneční radiace mají v zimním období vliv na rozložení vlhkostního pole prostředí provětrávané mezery.

- v porovnání s vlhkostním polem v době mimo oslunění fasády dochází vlivem dávek sluneční radiace k oddalování křivek maximální a minimální relativní vlhkosti vzduchu v provětrávané mezeře, velikost difference mezi jednotlivými křivkami však nezávisí pouze na dávce sluneční radiace, ale také na hodnotě relativní vlhkosti vnějšího vzduchu vstupujícího do prostředí provětrávané mezery. Vzájemná difference obou křivek je v řádech několika desítek procent, a to i ve vztahu k průběhu relativní vlhkosti vnějšího vzduchu.

- v období bez oslunění fasády je vzájemná difference křivek vlhkostního pole malá, v řádech jednotek procent, v podstatě téměř konstantní a obě křivky téměř paralelně sledují průběh vnější teploty.

#### **d/ Vliv oslunění fasády na rychlost proudění vzduchu uvnitř provětrávané mezery:**

- oslunění fasády v zimním období a absolutní výška dávek sluneční radiace nemají oproti obecnému očekávání přímo úměrný vliv na rychlost proudění vzduchu uvnitř provětrávané mezery.

- při hodnocení výsledků jednotlivých výpočetních stavů, ale především vybraných sérií zimních dnů lze narazit na úseky, kdy je rychlost proudění s vlivem přímého slunečního záření menší než rychlost proudění s vlivem pouhé složky záření difúzního, nebo dokonce než rychlosti proudění dosahované v období bez oslunění fasády.

- do hry se tak pravděpodobně dostávají i další veličiny, především teplotně-vlhkostní parametry vnějšího vzduchu vstupujícího do prostředí provětrávané mezery a pravděpodobně také vliv rychlosti větru a orientace fasády vůči jeho proudění (závětrná / návětrná strana fasády).

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo, jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro hodnocení rychlosti proudění vzduchu uvnitř provětrávané mezery obvodového pláště v zimním období s i bez vlivu sluneční radiace. Z časového hlediska nebylo analyzováno celé předmětné období listopad až únor, nahlíženy byly pouze vybrané typické časové úseky konkrétních výpočtových stavů. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další analyzované časové úseky.

**Cíl 8:** Z vypočtených dat vyvodit dopady mající vliv na konstrukci dvouplášťové fasády s provětrávanou mezerou a s velkoplošným obkladem vnějšího pláště v zimním období.

## Zhodnocení splnění:

- celé nahlížené zimní období od listopadu do února reprezentuje celkem **120 dnů, tj. 2880 hodin / hodinových dat referenčního klimatického roku**

- **z tohoto období byly provedeny výpočty pro:** 4 vybrané listopadové dny (výpočtové stavy), tj. 96 hodin / 5 vybraných prosincových dnů (výpočtových stavů), tj. 120 hodin / 10 vybraných lednových dnů (výpočtových stavů), tj. 240 hodin / 5 vybraných únorových dnů (výpočtových stavů), tj. 120 hodin = **celkem 24 dnů (výpočtových stavů) / 576 hodin.**

- výpočty a hodnocení výsledků byly provedeny pouze pro 20 % z celkové délky zamýšleného období. Přesto však lze poměrně přesně specifikovat dopady mající vliv na konstrukci dvouplášťové fasády s provětrávanou mezerou a s velkoplošným obkladem vnějšího pláště:

### **a/ Konstrukční charakteristiky:**

- dvouplášťová konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou je poměrně otevřený systém se širokým spektrem proměnných, uplatňujících svůj vliv buď samostatně, nebo ve vzájemných kombinacích. Tím se spektrum proměnných ještě více rozevírá.

- **základním požadavkem správného fungování této konstrukce je zajištění trvalého proudění vzduchu v provětrávané mezeře.** Z výsledků lze vyvodit, že rychlost proudění nedosahuje extrémně vysokých hodnot. Pohybuje se v řádech jednotek a desítek cm/s, přičemž nejčastější je rychlost v řádu nižších desítek cm/s. Je nutno si však uvědomit, že výpočtový model měl výšku na cca jedno podlaží. Lze očekávat, že u menší výšky, např. na výšku parapetního pásu pásových oken by dosahované rychlosti proudění byly menší, pravděpodobně by se však proudění v provětrávané mezeře takové konstrukce nezastavilo. Stejně tak je nutno konstatovat, že výpočtový model byl nastaven na v praxi nejrozšířenější tloušťku provětrávané mezery 40 mm. Převládá obecný názor, že na rychlost proudění nemá až takový vliv absolutní tloušťka provětrávané mezery, ale především poměr její tloušťky k výšce. Tuto skutečnost nelze na základě vypočítaných hodnot potvrdit nebo vyvrátit. Tato skutečnost nebyla předmětem prováděných analýz. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o zcela otevřený výpočtový model, který je možno dále rozšiřovat o případné další analyzované výpočtové stavy.

- **na rychlost proudění mají také vliv jiné parametry, než samotný fakt oslunění či neoslunění fasády, či oslunění fasády přímou nebo difúzní složkou slunečního záření.** Faktem je, že existence tepelného toku vlivem oslunění fasády musí být pro dobu oslunění fasády pouhou složkou difúzního záření nebo pro dobu zcela bez oslunění fasády kompenzováno

dostatečnou velikostí tepelného toku z interieru. Tento tok však bude logicky tím menší, čím menší bude součinitel prostupu tepla konstrukce obvodového pláště jako celku, nebo zjednodušeně řečeno čím větší bude tloušťka tepelné izolace ve skladbě obvodového pláště. Toto hledisko nabývá v době stále se zostřujících požadavků na tloušťku tepelné izolace na významu a jistě by stálo za podrobnější zhodnocení.

- **rychlost proudění je ve vzájemném vztahu také s formátováním obkladu fasády.** Čím menší bude formát obkladu, tím větší bude podíl spár (především podíl horizontálních spár) a tím menší bude s největší pravděpodobností i dosahovaná rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře.

- **z tohoto hlediska lze doporučit maximální možnou průběžnost svislých prvků nosného roštu obkladu a zasouvání případných horizontálních prvků obkladu do tloušťky tepelné izolace.** Tato konstrukční úprava umožní vytváření co možná nejsouvislejších a nejsamostatnějších komor / sektorů, které by byly navzájem odděleny a vytvářely tak samostatná prostředí se zaručenou funkcí provětrávané mezery a v konečném důsledku difúzně otevřenou stavební konstrukci se všemi jejími benefity.

- **výskyt kolizních jevů:** dosažení varovného stavu  $\varphi_{cv} < 90 \%$  dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2) a výskyt kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády je v zimním období poměrně častým jevem a často se jedná o kolizní stavy jdoucí paralelně. Období jejich výskytu jsou poměrně dlouhá a často je ukončí až oslunění fasády. Výskyt kondenzace v prostředí vzduchu proudícího v provětrávané mezeře je jevem méně častým, úzce svázaným s tepelně-vlhkostními charakteristikami vnějšího vzduchu, nicméně jej v žádném případě nelze vyloučit.

- **z toho vyplývají jednoznačná doporučení směrem k materiálu fasádního obkladu a jeho zpracování** (řezání, vrtání apod.). Materiál obkladu musí umět bez poruchy přenést výskyt kondenzátu na svém vnitřním povrchu a jeho odvedení zpět do vnějšího prostředí (úprava spár obkladu, paty konstrukce obvodového pláště apod.). Stejná doporučení lze uvést i směrem k materiálu nosného roštu obkladu, jednoznačně směřující k antikorozi úpravě nejen prvků roštu, ale také prvků mechanického kotvení obkladu k nosnému roštu a prvků nosného roštu k nosné konstrukci obvodového pláště.

- **samostatnou kapitolou pak je doporučení směřující k aplikaci pojistné difúzně otevřené povlakové vrstvě na vnějším líci tepelné izolace** a jejímu zpracování směrem k celistvosti a úpravě spár tzv. po vodě. Z hlediska četnosti výskytu kondenzace v prostředí provětrávané mezery považují za důležité tuto konstrukční úpravu jednoznačně doporučit i u fasádních obkladů

s menším podílem spár a jejich konstrukční úpravě směřující k těsnosti obkladu proti srážkové vodě stékající po vnějším povrchu obkladu fasády. Diskuse o potřebě či nepotřebě difúzně otevřené vrstvy na vnějším líci tepelné izolace a jejího nahrazení pouhým použitím hydrofobizovaného materiálu tepelné izolace tímto jednoznačně ztrácí smysl.

**- veličiny teplotního pole prostředí provětrávané mezery jsou úzce a přímo úměrně svázány s osluněním fasády a hodnotami sluneční radiace v zimním období:** nejsou ani tak důležité dosahované absolutní hodnoty, ale jejich diference jak mezi jednotlivými částmi obvodového pláště s provětrávanou mezerou, tak vůči teplotám vnějšího prostředí. Důležitým zjištěním byly samotné hodnoty sluneční radiace přímého slunečního záření, dosahující řádově stovek  $W/m^2$  svislé plochy fasády, prakticky bez rozdílu její orientace V-J-Z. Je potřeba si uvědomit, že dráha Slunce je v našich zeměpisných šířkách v zimním období poměrně nízká, takže nestíněná svislá fasáda je vystavena přímému působení sluneční energie zejména v jasných zimních mrazivých dnech. Indikativní v tomto směru byl již samotný přepočtení hodnot globálního slunečního záření na  $1 m^2$  půdorysné plochy z databáze referenčního klimatického roku do hodnot na  $1 m^2$  svislé plochy fasády. Nejvyšší hodnoty globálního slunečního záření z databáze referenčního klimatického roku dosahují cca  $150$  až  $180 W/m^2$  vodorovné plochy a tyto hodnoty se po přepočtu na svislou plochu fasády transformují do hodnot řádově 3 krát až 5 krát větších (v závislosti na měsíci, pro který je přepočtení provedeno). Je to důsledek nízké dráhy Slunce po obloze, kdy dojde k tomu, že nestíněná fasáda obdrží přímou kolmou plnou dávku slunečního záření. V důsledku toho pak dochází k poměrně rychlému nástupu ohřevu obkladu fasády v poměrně velkých rozdílových diferencích vzhledem k vnější teplotě v dané době. U těchto výpočtových stavů se tato diference pohybuje v rozmezí  $30$  až  $40$  °C. Této skutečnosti je nutno přizpůsobit způsob kotvení velkoplošného obkladu fasády k jeho nosnému roštu metodou pevných a kluzných bodů, a umožnit tak bezproblémovou dilataci materiálu obkladu v důsledku teplotních změn. V žádném případě nelze doporučit kotvení jedné desky velkoplošného obkladu fasády na sousední (nižší / vyšší) nosný rošt. Dále lze doporučit věnování pozornosti kotvení obkladu fasády v rozích a koutech fasád různě orientovaných ke světovým stranám (SV, SZ apod.).

**- vliv větru:** byť je vítr krajně nevyzpytatelnou veličinou, provedené výpočty ukazují, že na rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře dvouplášťové konstrukce obvodového pláště může mít vliv i tato výrazně proměnlivá veličina. Její vliv bude tím významnější, čím menší bude vliv standardních proměnných typu sluneční radiace, tepelně-vlhkostní charakteristiky vnějšího vzduchu vstupujícího do prostředí provětrávané mezery a geometrie a proporce provětrávané mezery jako takové. Z tohoto pohledu lze doporučit co nejmenší pohledové zakrývání vstupních

a výstupních otvorů napojujících provětrávanou mezeru na vnější prostředí, či zmenšování jejich aerační plochy dalšími konstrukčními úpravami.

#### **b/ Materiálové charakteristiky:**

- **reakce na vlhkostní pole prostředí provětrávané mezery:** vzhledem k tomu, že období výskytu dosažení varovného stavu  $\varphi_{cv} < 90\%$  dle odst. 6.4/ ČSN 73 0540-2) a výskytu kondenzace na vnitřním povrchu obkladu fasády je v zimním období poměrně častým jevem, je naprosto nezbytné, aby materiál obkladu fasády a především materiál nosného roštu obkladu fasády a kotvicí prvky byly vždy navrhovány v antikorozním provedení. Tento požadavek vylučuje používání dřevěných nosných roštů, jejichž použití lze výjimečně připustit pouze v důsledku jejich ošetření směřujícím k vyšší odolnosti proti vlhkosti a vodě a svislé orientace nosného roštu. Toto konstrukční a materiálové opatření může teoreticky minimalizovat nebezpečí výskytu dřevokazných hub, plísní a případného následného kolapsu nosného roštu v důsledku jeho expozice v prostředí se zvýšenou vlhkostí. Stejným způsobem může být atakován i materiál obkladu, který jednoznačně musí umět bez poruchy přenést expozici prostředí se zvýšeným výskytem vlhkosti, popř. i stékající vody. Tento požadavek nelze vztahovat pouze na vlastní podstatu daného materiálu, ale také na způsob jeho opracování (např. vrtání a řezání) s rizikem narušení celistvosti a struktury konkrétního materiálu, který by za normálních podmínek (např. pouze s originálními spárami či řeznými plochami ošetřenými přímo z výroby) tuto expozici dokázal přenést.

Samostatnou kapitolou pak je respektování přirozených vlastností jednotlivých materiálů obkladu fasády, jeho nosného roštu a spojovacích prvků a jejich vzájemné kombinace zamezující případné elektrolytické korozi. Tyto kombinace jsou specifikovány v ČSN 73 3610 – Navrhování klempířských konstrukcí (Tab. 25):



Materiál	Hliník (Al)	Olovo (Pb)	Měď (Cu)	Titanzinek (TiZn)	Nerezová ocel (S.S.)	Pozinkovaná ocel (FeZn)	Ocel
Hliník (Al)	+	o	-	+	+	+	-
Olovo (Pb)	o	+	+	+	+	o	-
Měď (Cu)	-	+	+	-	+	-	-
Titanzinek (TiZn)	+	+	-	+	+	+	-
Nerezová ocel (S.S.)	+	+	+	+	+	+	+
Pozinkovaná ocel (FeZn)	+	o	-	+	+	+	-
Ocel	-	-	-	-	+	-	+

+ = Materiály mohou být v kontaktu

- = Kontakt materiálu je třeba vyloučit výrazně se ovlivňují, k elektrolytické korozi dochází za přítomnosti vody

o = Kontakt materiálu raději vyloučit

Tab. 25 - Kombinace kovů dle ČSN 73 3610 - Navrhování klempířských konstrukcí s ohledem na vznik galvanického článku a následný výskyt elektrolytické koroze. Zdroj: ČSN 733610 Navrhování klempířských konstrukcí, březen 2008. Tab. D.4/ s.38

Ke vzniku galvanického článku, jehož důsledkem bude elektrolytická koroze, musí být přítomen zásadní faktor – vlhkost, přičemž ke vzniku tohoto jevu stačí pouze vzdušná vlhkost, která se v prostředí provětrávané mezery dvouplášťových konstrukcí obvodových plášťů vyskytuje ruku v ruce s tepelně-vlhkostními vlastnostmi vzduchu vstupujícího do provětrávané mezery a je dále umocňována výskytem kolizních jevů vlhkostního pole prostředí provětrávané mezery.

**- reakce na teplotní pole prostředí provětrávané mezery:** s ohledem na velikost diferencí teplotních křivek teplotního pole prostředí provětrávané mezery, na velikost diferencí jejich absolutních hodnot od křivky průběhu vnější teploty a na časovou souslednost a rychlost nárůstu teplot vlivem oslunění fasády, je naprosto nutné respektovat přirozené fyzikální vlastnosti materiálů použitých na obklad fasády a na jeho nosný rošt. Mezi tyto přirozené vlastnosti samozřejmě patří teplotní roztažnost materiálů, daná koeficientem teplotní roztažnosti materiálu a přímo úměrná rozdílu teplot, kterým je materiál vystaven. Výsledky analýzy ukazují, že teplotní rozdíly v prostředí provětrávané mezery jsou v důsledku oslunění fasády poměrně veliké a mohou krátkodobě reprezentovat hodnoty v řádech několika desítek °C. Z tohoto důvodu je nutné, aby navržené materiály byly schopny přenést zatížení vyplývající z objemových změn vlivem těchto teplotních rozdílů a jejich aplikace obsahovala dostatečné množství stupňů volnosti pro kompenzaci délkových změn vyvolaných diferencemi teplotního pole.

**Závěr:** vytyčeného cíle bylo dosaženo, jednotlivé výpočtové stavy poskytují poměrně široké spektrum možností pro vyvození dopadů majících vliv na konstrukci dvouplášťové fasády s provětrávanou mezerou a s velkoplošným obkladem vnějšího pláště v zimním období.

Z časového hlediska nebylo analyzováno celé předmětné období listopad až únor, nahlíženy byly pouze vybrané typické časové úseky konkrétních výpočtových stavů. Z hlediska metodiky a statistiky se však jedná o otevřený systém, který je možno dále rozšiřovat o další analyzované časové úseky.

## **E.2/ ZÁVĚRY PRO DALŠÍ VÝZKUMNOU ČINNOST**

Předkládaná práce si kladla za cíl podrobněji poznat procesy probíhající v prostředí provětrávané mezery dvouplášťové konstrukce obvodového pláště s velkoplošným obkladem, přičemž úhel pohledu byl zúžen pouze na období zimních měsíců (listopad až únor) s pokusem zohlednit časové úseky oslunění fasády obecně orientované vůči světovým stranám. Pro účel poznání těchto procesů byl vytvořen výpočtový model a metodika výpočtu hodnotících kritérií, jež byly dále analyzovány jak ve vztahu k normovým požadavkům, tak ve vztahu k požadavkům majícím vliv na spolehlivost a zachování užitné a estetické hodnoty předmětné stavební konstrukce, která je v praxi jedním z nejrozšířenějších typů konstrukce obvodových plášťů.

Výpočtový model, metodika jeho výpočtu a hodnocení výsledků je otevřeným systémem, aplikovatelným na obecnou konstrukci obvodového pláště s provětrávanou mezerou, konstrukci libovolné skladby, geometrie a sklonu, obecně orientovanou ke světovým stranám, osazenou v obecné geografické poloze. Podmínkou je pouhé získání podrobných klimatických dat pro danou lokalitu. Tato data mohou být získána stejným způsobem jako data zpracovávaná v předkládané práci – tedy jako klimatická data referenčního klimatického roku, která je možné získat na základě konkrétního požadavku geografické polohy ČHMÚ. Dalším možným způsobem je získání klimatických dat z archívních záznamů klimatických čidel systémů měření a regulace na již realizovaných objektech, např. pro řešení případných kolizních stavů a reklamačních kauz předmětných konstrukcí stávajících objektů.

Výpočtový model a metodika jeho zpracování se tak nabízí být univerzálním a poměrně jednoduchým nástrojem pro podrobnější analýzu chování dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou.

### **Z toho vychází i následující možnosti další vědecké činnosti:**

- provedení obdobné analýzy a hodnocení poměrů v prostředí provětrávané mezery v letním období
- sledování i jiných parametrů než parametrů hodnocených v předkládané práci. Nabízí se např. systematické hodnocení parametrů, které by analyzovaly a hodnotily přínosy dvouplášťové

konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou z hlediska energetické náročnosti konstrukce obálky budovy.

- je samozřejmě možné výsledky vyplývající z teoretického výpočtového modelu ověřit v reálném prostředí na reálné konstrukci a objektu, provést případné korekce ve výpočtovém modelu a v metodice výpočtu a následném hodnocení výsledků. Tato cesta by mohla vést např. k vytvoření nástroje nebo metodiky určené pro podrobnější návrh konstrukcí tohoto typu v běžné projekční praxi a jeho případné kodifikace v oborové legislativě.

- Samostatným osobním cílem autora, s ohledem na jeho angažovanost na Ústavu stavitelství I Fakulty architektury ČVUT, je vytvoření ucelených studijních materiálů nejen k dané problematice, ale k předmětu Pozemního stavitelství jako celku, s možností jejich případné publikace odborné veřejnosti.

Cíle, vztčené v úvodu předkládané práce byly splněny a výsledky práce otevřely poměrně široké spektrum možností dalšího postupu.

V Praze,

červen 2021 až únor 2022

Ing. Miloš Rehberger.

## F/ SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY / BIBLIOGRAFIE

BÁČOVÁ, Marie. *Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty*. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3.

Česká meteorologická společnost [online]: Elektronický meteorologický slovník (eMS) [cit 31.01.2022]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov: Část 1: Terminologie*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. Červen 2005.

ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. Říjen 2011.

ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. Listopad 2005.

ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov: Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. Červen 2005.

ČSN 73 3610. *Navrhování klempířských konstrukcí*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2008.

ČSN 74 7251. *Skládané pláště, obklady a pláště z panelů: Požadavky na přesnost osazení, kvalitu a vzhled*. Praha: Česká agentura pro standardizaci. Březen 2018.

ČSN EN ISO 15927-4. *Tepelně vlhkostní chování budov - Výpočet a uvádění klimatických hodnot: Část 4: Hodinová data pro posuzování roční energetické potřeby pro vytápění a chlazení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, únor 2011.

ČSN EN ISO 52010-1. *Energetická náročnost budov - Vnější klimatické podmínky: Část 1: Přepočtení klimatických dat pro energetické výpočty*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.

*Guideline for European technical approval of Kits for external wall claddings: Part I: Ventilated cladding kits comprising cladding components and associated fixings*. In.: Brusel: EOTA, 2012, ETAG 034.

HENS, Hugo. *Applied building physics: boundary conditions, building performance and material properties*. Berlin: Ernst, 2011. ISBN 978-3-433-02962-6.

HYKŠ, Pavel a Jozef HRAŠKA. *Slnečné žiarenie a budovy*. Bratislava: Alfa, 1990. ISBN 80-05-00636-5.

CHMÚRNÝ, Ivan. *Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov*. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7.

JELÍNEK, Vladimír. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 13. 9. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>

KLÁSEK, Jiří. Nové možnosti oprav nestabilních ETICS a zdvojování ETICS. *Tzbinfo.cz* [online]. Topinfo, 13. 10. 2013 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/10444-nove-moznosti-oprav-nestabilnich-etics-a-zdvojovani-etics>

LORENC, Petr. Zkušenosti z dlouhodobého ověřování životnosti ETICS. *Tzbinfo.cz* [online]. Topinfo, 5. 1. 2010 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6159-zkusenosti-z-dlouhodobeho-overovani-zivotnosti-etics>

MATIČKA, Jan. Vliv větrem hnaného deště na návrh dvouplášťových svislých obvodových konstrukcí se skládaným pláštěm. Studie disertační práce. 15123 Ústav stavitelství, Fakulta architektury ČVUT. 2007.

MATUŠKA 2019. [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2\\_P1-slunecni\\_energie.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2_P1-slunecni_energie.pdf)

*Pražské stavební předpisy s aktualizovaným odůvodněním*. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. ISBN 978-80-87931-57-8. 2016.

PUŠKÁR, Anton. *Obvodové pláště budov - fasády*. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9.

SEFERIS, P. & STRACHAN, Paul & DIMOUDI, A. & ANDROUTSOPOULOS, A.. (2011). Investigation of the performance of a ventilated wall. *Energy and Buildings*. 43. 2167-2178. 10.1016/j.enbuild.2011.04.023.

SVOBODA, Zbyněk. Tepelné efekty bodových kotev zavěšených fasádních obkladů. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 24. 3. 2008 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/4737-tepelne-efekty-bodovych-kotev-zavesenych-fasadnich-obkladu>

SVOBODA, Zbyněk. *Fotovoltaika 2017*. Kladno: Svoboda software. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/fotovoltaika/>

SVOBODA, Zbyněk. *Mezera 2017*. Kladno: Svoboda software. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/mezera/>

ŠAGÁT, Erik. *Větrání obvodových plášťů budov: Zkrácená verze PhD Thesis*. Brno. Dostupné také z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=157008](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157008). Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka.

ŠAGÁT, Erik a Libor MATĚJKA. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. *Tzbinfo.cz* [online]. Praha: Topinfo, 23. 2. 2015 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady>

ŠAGÁT, Erik, Jan PĚNČÍK a Libor MATĚJKA. *Parametrická studie vlivu tloušťky vzduchové mezery provětrávané fasády* [online]. 21. Praha: CTU Faculty of Civil Engineering, 2013 [cit. 2022-02-01]. ISSN 1210-4027.

VAVERKA, Jiří, Josef CHYBÍK a František MRLÍK. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM. ISBN 80-214-1649-1. 2000.

VHF - System und brandschutz. *FVHF Fassade der zukunft* [online]. Berlin: Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V., 2013, 10. 3. 2013 [cit. 2022-

02-01]. Dostupné z: [https://www.fvhf.de/Fassade-bilder/docs/VHF-System-und-Brandschutz\\_0617.pdf](https://www.fvhf.de/Fassade-bilder/docs/VHF-System-und-Brandschutz_0617.pdf)

VIKTORA, Jiří. *Energetická optimalizace při rekonstrukci a modernizaci obytných panelových objektů*. Praha, 1985. Kandidátská práce oboru Teorie konstrukcí pozemních staveb. ČVUT Fakulta stavební.

*Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Albedo* [online]. 2021 [citováno 31. 01. 2022]. Dostupný z WWW: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Albedo&oldid=20512616>>

## G/ SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - The icons of the United Nations Sustainable Development Goals (SDG) Zdroj: ČSN EN 15643 Udržitelnost ve výstavbě – Rámec pro posuzování budov a inženýrských staveb, Prosinec 2021, s. 8.....	4
Obr. 2 - Deset hlavních tezí vedoucích k nízké spotřebě energie Zdroj: TLUSTÝ 2021, 7 tezí ČKA k udržitelnosti s. 2, <a href="https://www.cka.cz/cs/cka/kontakty/pracovni-skupiny/ps-udrizitelnost">https://www.cka.cz/cs/cka/kontakty/pracovni-skupiny/ps-udrizitelnost</a> ....	5
Obr. 3 - Poruchy vnějšího obkladu lamelami vysokotlakého laminátu s viditelnými plochami zvlhnutí některých lamel Zdroj: fotoarchiv autora.....	10
Obr. 4 - Schématické znázornění charakteristického průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.52.....	15
Obr 5 - Schématické znázornění průběhu teplot jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště s vlivem přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s. 59.....	15
Obr. 6 - Schématické znázornění průběhu difúze vodních par jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště s vlivem přestupu vodní páry na vnitřní a vnější straně konstrukce Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.180.....	16
Obr. 7 - Schématické znázornění průběhu parciálních tlaků vodní páry jednovrstvou homogenní konstrukcí obvodového pláště bez kondenzace a s kondenzací Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.181.....	16
Obr 8 Schéma funkce Trombeho stěny jako pasivního solárního prvku Zdroj: web .....	22
Obr. 9 Zateplení fasády bytového domu Praha 9 - Hloubětín. Stav po sejmutí vnější přízdívky ze škvárobetonových tvárnic.....	23
Obr. 10 – Schématické znázornění charakteristického průběhu teplot konstrukcí obvodového pláště bez a se zateplením na její vnější straně Zdroj: CHMÚRNY, Ivan. Stavebná tepelná technika: Základy tepelnej ochrany budov. Bratislava: STU Bratislava. ISBN 978-80-227-4147-7. s.80 .....	26
Obr. 11 - Kolizní jev jako výsledek snížení hodnoty hsi vlivem zateplení obvodové stěny v kombinaci s nedostatečnou cirkulací vzduchu a sálání vnitřního povrchu obvodové stěny díky přistaveného nábytku. Zdroj: fotoarchiv autora.....	27
Obr. 12 Kolizní jev ztráty stability ETICS v důsledku sání větru jako výsledek nesprávné aplikace lepení desek tepelné izolace Zdroj: KLÁSEK 2013, Nové možnosti oprav nestabilních ETICS a zdvojování ETICS. <a href="https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/10444-nove-moznosti-oprav-destek-izolace">https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/10444-nove-moznosti-oprav-destek-izolace</a> .....	28
Obr. 13 - Typická skladba dvouplášťové konstrukce s provětrávanou mezerou.....	31
Obr. 14 - Masívní podkonstrukce keramického obkladu Möding Alphaton s výrazným vlivem systémových tepelných mostů.....	35
Obr. 15 - Jüdisches Museum Berlin - Daniel Liebeskind, 2001. Zdroj: fotoarchiv autora. ....	36
Obr. 16 - RD Myšlín - Aulík Fišer architekti, 2009. Zdroj: fotoarchiv autora.....	37
Obr 17 - Fasádní obklad z keramických tvarovek Möding Alphaton umožňuje díky technickému řešení roštu výměnu každého dílce samostatně bez nutnosti demontáže větší plochy obkladu. Zdroj: fotoarchiv autora.....	38

Obr. 18 - Požár Grenfell Tower - Londýn Kensington, červen 2017. 79 obětí. Konstrukce fasády s větranou mezerou, použití obkladových desek s polymerním jádrem, materiál tepelné izolace PIR, nevhodné konstrukční řešení předstěnové montáže oken. Zdroj: POKORNÝ 2017. <a href="https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/15920-mozne-priciny-vzniku-a-sireni-pozaru-v-bytovem-dome-grenfell-tower-v-londyne">https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/15920-mozne-priciny-vzniku-a-sireni-pozaru-v-bytovem-dome-grenfell-tower-v-londyne</a> .....	39
Obr. 19 Příklad vkládání požárních přepážek do větrané mezery dle DIN18516-1/2016. Zdroj: Brandschutztechnische Vorkehrungen für vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) nach DIN18516-1, Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden. Berlin 2016. ....	40
Obr. 20 Schéma předpokladu stanovení srážkového úhrnu na vertikální ploše fasády z celkového úhrnu srážek na horizontální rovině. Zdroj: MATIČKA 2007. Vliv větrem hnaného deště na návrh dvouplášťových svislých obvodových konstrukcí se skládaným pláštěm. Studie disertační práce. 15123 Ústav stavitelství I, Fakulta architektury ČVUT. ....	53
Obr. 21 - Schéma posuzovaných variant provětrávané mezery. Šagát 2015. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. Zdroj: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady">https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady</a> .....	59
Obr. 22 - Shrnutí měření rychlosti proudění. Šagát 2015. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. Zdroj: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady">https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady</a> .....	60
Obr. 23 - Shrnutí měření teploty vzduchu v provětrávané mezeře. Šagát 2015. Vliv lokálního zúžení mezery na funkčnost konstrukce osluněné provětrávané fasády. Zdroj: <a href="https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady">https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/12346-vliv-lokalniho-zuzeni-mezery-na-funkcnost-konstrukce-oslunene-provetravane-fasady</a> .....	61
Obr. 24 - Příklad referenční fasády - dvouplášťová konstrukce s větranou mezerou a s obkladem z vláknocementových desek Cembrit Solid - Hotel Miura, Čeladná. Zdroj: fotoarchiv autora.....	68
Obr. 25 - Schéma skladby a geometrie výpočtového modelu. Zdroj: autor. ....	72
Obr. 26 - Schéma geometrie výpočtového modelu. Zdroj: autor .....	73
Obr. 27 - Graf intenzity globálního slunečního záření na vodorovnou plochu. Zdroj: CIHELKA, Jaromír 1984. Praha: SNTL, Sluneční vytápěcí systémy. s. 206.....	78
Obr. 28 - Přestup tepla uvnitř provětrávané mezery. Zdroj: SEFERIS, P. STRACHAN, P. DIMOUDI, A. ANDROUTSOPOLOUS, A. 2011 Investigation of The Performance of A Ventilated Wall. <a href="https://www.researchgate.net/publication/229305505_Investigation_of_the_performance_of_a_ventilated_wall">https://www.researchgate.net/publication/229305505_Investigation_of_the_performance_of_a_ventilated_wall</a> . s. 27 .....	85
Obr. 29 - Vztah mezi difúzním a globálním slunečním zářením na vodorovnou plochu a koeficientem čistoty atmosféry. Zdroj: MATUŠKA 2019. <a href="http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2_P1-slunecni_energie.pdf">http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2019/02/AZE2_P1-slunecni_energie.pdf</a> s. 27 .....	99
Obr. 30 - Graf znázorňující vzájemný vztah oslunění a tepelného toku mezi fasádou a oblohou pro jižní, východní a západní fasádu – mrazivý jasný den – 15. leden – dopočet východní a západní fasády .....	133
Obr. 31 - Graf znázorňující průběh vybraných teplotních křivek teplotního pole pro jižní, východní a západní fasádu – mrazivý jasný den – 15. leden – dopočet východní a západní fasády .....	136



Obr. 32 – Graf znázorňující průběh vybraných hodnot vlhkostního pole pro východní a západní fasádu - mrazivý jasný den – 15. leden – dopočet východní a západní fasády ..... 137

## H/ SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce nosných obvodových stěn staveb do roku 1920 Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.162 .....	18
Tab. 2 - Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce obvodových stěn staveb od roku 1921 do roku 1945 Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.163 .....	18
Tab. 3 Orientační tepelné technické parametry pro konstrukce obvodových stěn staveb po roce 1945 Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.164 .....	18
Tab. 4 - Potřeba tepla na vytápění vybraných stavebních soustav panelových bytových domů Zdroj: BÁČOVÁ, Marie. Manuál energeticky úsporné architektury: novostavby, panelové domy, změny staveb, historické objekty. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů. ISBN 978-80-904577-1-3. s.162 .....	20
Tab. 5 - Hodnoty ztrátového toku mezi fasádou a noční oblohou vypočítané předprogramovaným pomocným výpočtem Mezera 2017 K-CAD s.r.o. ....	76
Tab. 6 Typické hodnoty intenzity globálního záření a podílu difúzního záření. Zdroj: <a href="http://www.ballbrno.cz/solarni-kolektory">http://www.ballbrno.cz/solarni-kolektory</a> .....	77
Tab. 7 – Přehled výpočtových stavů. Výběr z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782 .....	79
Tab. 8 – Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 20. listopad – jižní fasáda. ....	104
Tab. 9 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý zatažený den – 1. leden – jižní fasáda.....	107
Tab. 10 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý polojasný den – 21. listopad – jižní fasáda. ....	109
Tab. 11 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu směrem do mrazivého polojasného dne – 22. prosinec – jižní fasáda. ....	111
Tab. 12 - Výsledky výpočtu – výpočtový stav: chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 27. listopad – jižní fasáda .....	113
Tab. 13 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: chladný zatažený den – 26. prosinec – jižní fasáda. ....	115
Tab. 14 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: studený zatažený den s vlivem vlhkosti – 28. listopad – jižní fasáda. ....	117
Tab. 15 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý polojasný den – 23. prosinec – jižní fasáda.....	119
Tab. 16 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti – 23. únor – jižní fasáda. ....	122
Tab. 17 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý zatažený den – 25. prosinec – jižní fasáda. ....	124
Tab. 18 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý jasný den – 25. únor – jižní fasáda. ....	126
Tab. 19 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý jasný den – 24. prosinec – jižní fasáda. ....	128
Tab. 20 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: mrazivý jasný den – 15. leden – jižní fasáda.....	131

Tab. 21 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: série lednových mrazivých dnů – 15. až 18. leden – jižní fasáda.....	141
Tab. 22 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: série únorových jasných mrazivých dnů – 23. až 27. únor – jižní fasáda. ....	149
Tab. 23 - Výsledky výpočtu - výpočtový stav: série prosincových mrazivých dnů – 22. až 26. prosinec – jižní fasáda. ....	157
Tab. 24 – Přehled výpočtových stavů – výběr z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782 .....	165
Tab. 25 - Kombinace kovů dle ČSN 73 3610 - Navrhování klempířských konstrukcí s ohledem na vznik galvanického článku a následný výskyt elektrolytické koroze. Zdroj: ČSN 733610 Navrhování klempířských konstrukcí, březen 2008. Tab. D.4/ s.38 .....	176

## I/ CURRICULUM VITAE

### Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Ing. Miloš Rehberger  
Narozen: 23. 10. 1965 v Českém Krumlově  
Státní příslušnost: Česká republika  
Adresa: Tálínská 1036/5, 198 00 Praha 14 – Kyje  
E-mail: [rehbemil@fa.cvut.cz](mailto:rehbemil@fa.cvut.cz)

### Vzdělání:

Od 09/2015 Doktorské studium FA ČVUT,  
studijní obor: 6501 V003 – Architektura, stavitelství a technologie  
Školitel: doc. Ing. Vladimír Daňkovský, CSc.  
Školící pracoviště: 15123 Ústav stavitelství I  
Forma studia: K (kombinovaná)  
Státní doktorská zkouška obhájena dne: 24/1/2019  
Téma dizertační práce: Stavebně-fyzikální parametry uvnitř  
vzduchové mezery provětrávaných fasád. Předpoklad dokončení:  
2021

12/2002 ČKAIT autorizace v oboru pozemních staveb (č.0008253)

09/1985 až 06/1989 ČVUT Praha, Fakulta stavební, obor pozemní stavby.

09/1983 až 06/1985 SPŠ stavební České Budějovice, dvouleté studium absolventů  
gymnázií. Obor pozemní stavby, maturita.

09/1979 až 06/1983 Gymnázium Český Krumlov, přírodovědná větev, maturita.

### Praxe:

09/2020 - dodnes FA ČVUT, 15123 Ústav stavitelství I, pedagogický pracovník.  
Garant předmětu: Pozemní stavitelství III.

- 09/1997 až 08/2020 BUILDING s.r.o., Peckova 13, Praha 8, projekce v oboru pozemních staveb. Vedoucí projektant, hlavní inženýr projektů, projektový manažer, AD GP.
- 09/1994 až 08/1997 DOMY s.r.o., Praha, projekce v oboru zdravotnických staveb.  
Zodpovědný projektant.
- 09/1991 až 08/1994 INES s.r.o., Praha, projekce v oboru pozemních staveb.  
Zodpovědný projektant.
- 01/1991 až 08/1991 AE Byggekonsulter, Stockholm, Švédsko, odborná praxe u projekční firmy v oboru pozemních staveb. Projektant.

**Pedagogická činnost FA ČVUT od září 2020:**

Přednášející a cvičící 523PS1B / 523PS1BK Pozemní stavitelství I

Přednášející a cvičící 523PS2B / 523PS2BK Pozemní stavitelství II

Přednášející a cvičící 523PS3B / 523PS3BK Pozemní stavitelství III (garant předmětu)

Ateliérová výuka ATBP / DP: konzultant v ateliéru: Cikán, Císler – Milerová, Kuzemský

## **J/ PUBLIKACE**

S ohledem na časovou a logistickou náročnost přípravy, tvorby a zpracování databáze výpočetních postupů a analýz použitých v předkládané práci bude vlastní publikační činnost následovat bezprostředně po odevzdání dizertační práce. Předpokládaný a již dohodnutý a zasmluvněný rozsah publikační činnosti lze v období dokončení dizertační práce specifikovat takto:

**1/** Účast na konferenci Izolace 2022 s příspěvkem Teorie konstrukčních detailů. Datum konání konference 3. března 2022. Příspěvek bude následně součástí sborníku.

**2/** Knižní publikace „Provětrávané fasády“. Již zasmluvněna Licenční smlouvou č.241/21 mezi zpracovatelem a vydavatelem Grada Publishing, a. s. Publikace bude obsahovat historický vývoj obvodových plášťů budov, základní principy provětrávaných fasád z hlediska stavební fyziky, požární bezpečnosti a dalších funkčních požadavků. Součástí publikace budou i typové a referenční detaily nejen vlastní konstrukce z hlediska variantního materiálového řešení, ale také z hlediska zabudování výplní otvorů a dalších doplňkových elementů. Nedílnou součástí bude i katalogová část širokého spektra technického a materiálového řešení a příklad referenčních řešení z již realizovaných staveb.

**3/** Knižní publikace „Dvouplášťové konstrukce obvodových plášťů s provětrávanou mezerou“. Dohodnuto mezi zpracovatelem a nakladatelstvím EEZY Publishing, s.r.o. Publikace bude určena odborné veřejnosti a vyjma obecné výkladové části bude obsahovat i typová řešení návazností na příbuzné obory, jako např. hydroizolace spodní stavby, návaznost na konstrukce střešních plášťů apod.

**4/** Publikační činnost v odborných časopisech.

## **K/ PŘÍLOHY:**

### **PŘÍLOHA 1/ Teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 20/11 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 1.1/** Teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 20/11 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 1.2/** Teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 20/11 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 1.3/** Teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 20/11 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 1.4/** Teplý zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 20/11 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 2/ Teplý zatažený den – 1/1 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 2.1/** Teplý zatažený den - 1/1 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 2.2/** Teplý zatažený den - 1/1 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 2.3/** Teplý zatažený den - 1/1 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 2.4/** Teplý zatažený den - 1/1 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)



**PŘÍLOHA 3/ Teplý polojasný den – 21/11 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 3.1/** Teplý polojasný den - 21/11 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 3.2/** Teplý polojasný den - 21/11 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 3.3/** Teplý polojasný den - 21/11 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 3.4/** Teplý polojasný den - 21/11 – jižní fasáda – sluneční záření (den) /  
tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 4/ Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu – 22/12 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 4.1/** Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu - 22/12 – jižní fasáda  
– rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 4.2/** Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu - 22/12 – jižní fasáda  
– teplotní pole

**PŘÍLOHA 4.3/** Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu - 22/12 – jižní fasáda  
– vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 4.4/** Teplý polojasný den s předpokladem změny klimatu - 22/12 – jižní fasáda  
– sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 5/ Chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí – 27/11 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 5.1/** Chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 27/11 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 5.2/** Chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 27/11 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 5.3/** Chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 27/11 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 5.4/** Chladný zatažený den se zvýšenou vlhkostí - 27/11 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 6/ Chladný zatažený den – 26/12 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 6.1/** Chladný zatažený den - 26/12 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 6.2/** Chladný zatažený den - 26/12 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 6.3/** Chladný zatažený den - 26/12 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 6.4/** Chladný zatažený den - 26/12 – jižní fasáda – sluneční záření (den) /  
tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 7/ Studený zatažený den s vlivem vlhkosti – 28/11 – jižní fasáda**

- PŘÍLOHA 7.1/** Studený zatažený den s vlivem vlhkosti - 28/11 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře
- PŘÍLOHA 7.2/** Studený zatažený den s vlivem vlhkosti - 28/11 – jižní fasáda – teplotní pole
- PŘÍLOHA 7.3/** Studený zatažený den s vlivem vlhkosti - 28/11 – jižní fasáda – vlhkostní pole
- PŘÍLOHA 7.4/** Studený zatažený den s vlivem vlhkosti - 28/11 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 8/ Mrazivý polojasný den – 23/12 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 8.1/** Mrazivý polojasný den - 23/12 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 8.2/** Mrazivý polojasný den - 23/12 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 8.3/** Mrazivý polojasný den - 23/12 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 8.4/** Mrazivý polojasný den - 23/12 – jižní fasáda – sluneční záření (den) /  
tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 9/ Mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti – 23/2 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 9.1/** Mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti - 23/2 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 9.2/** Mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti - 23/2 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 9.3/** Mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti - 23/2 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 9.4/** Mrazivý polojasný den s vlivem vlhkosti - 23/2 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

## **PŘÍLOHA 10/ Mrazivý zatažený den – 25/12 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 10.1/** Mrazivý zatažený den - 25/12 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 10.2/** Mrazivý zatažený den - 25/12 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 10.3/** Mrazivý zatažený den - 25/12 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 10.4/** Mrazivý zatažený den - 25/12 – jižní fasáda – sluneční záření (den) /  
tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)



**PŘÍLOHA 11/ Mrazivý jasný den – 25/2 – jižní fasáda**

- PŘÍLOHA 11.1/** Mrazivý jasný den - 25/2 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře
- PŘÍLOHA 11.2/** Mrazivý jasný den - 25/2 – jižní fasáda – teplotní pole
- PŘÍLOHA 11.3/** Mrazivý jasný den - 25/2 – jižní fasáda – vlhkostní pole
- PŘÍLOHA 11.4/** Mrazivý jasný den - 25/2 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 12/ Mrazivý jasný den – 24/12 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 12.1/** Mrazivý jasný den - 24/12 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 12.2/** Mrazivý jasný den - 24/12 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 12.3/** Mrazivý jasný den - 24/12 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 12.4/** Mrazivý jasný den – 24/12 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

### **PŘÍLOHA 13/ Mrazivý jasný den – 15/1 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 13.1/** Mrazivý jasný den - 15/1 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 13.2/** Mrazivý jasný den - 15/1 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 13.3/** Mrazivý jasný den - 15/1 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 13.4/** Mrazivý jasný den – 15/1 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 14/ Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 14.1/** Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 14.2/** Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 14.3/** Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 14.4/** Série lednových mrazivých dnů – 15/1 až 18/1 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 15/ Série únorových mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda**

**PŘÍLOHA 15.1/** Série únorových mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře

**PŘÍLOHA 15.2/** Série únorových mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda – teplotní pole

**PŘÍLOHA 15.3/** Série únorových mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda – vlhkostní pole

**PŘÍLOHA 15.4/** Série únorových mrazivých dnů – 23/2 až 27/2 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)

**PŘÍLOHA 16/ Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda**

- PŘÍLOHA 16.1/** Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře
- PŘÍLOHA 16.2/** Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda – teplotní pole
- PŘÍLOHA 16.3/** Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda – vlhkostní pole
- PŘÍLOHA 16.4/** Série prosincových mrazivých dnů – 22/12 až 26/12 – jižní fasáda – sluneční záření (den) / tepelný tok mezi fasádou a oblohou (noc)