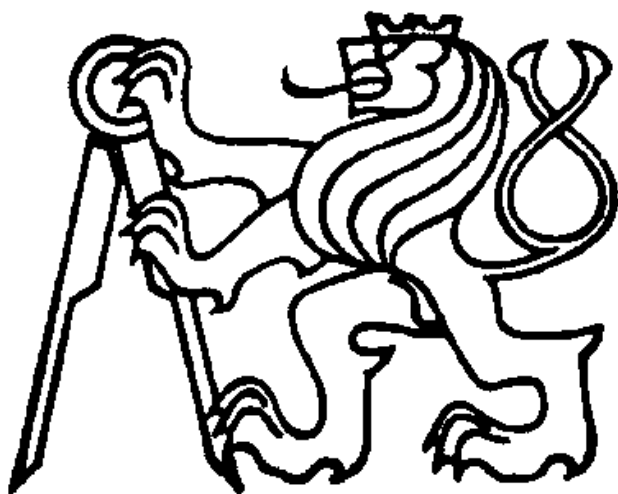


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta architektury

15123 Ústav stavitelství I

Ing. Miloš Rehberger

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

Doktorský studijní program: (P731) Architektura a urbanismus

Studijní obor: 6501 V003 Architektura, stavitelství a technologie

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, únor 2022

Disertační práce byla vypracována v ~~prezenční/distanční~~/kombinované*
formě doktorského studia na Ústavu stavitelství I (15123)
Fakulty architektury ČVUT v Praze.

Uchazeč: Ing. Miloš Rehberger
15123 Ústav stavitelství I
Fakulta architektury ČVUT Praha

Školitel: doc. Ing. Vladimír Daňkovský, CSc.
15123 Ústav stavitelství I
Fakulta architektury ČVUT Praha

Školitel-specialista: xxx
pracoviště xxx
adresa

Oponenti:
.....
.....

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne v hod. před
komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru (*název*) v zasedací
místnosti č Fakulty (*název*) ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátě Fakulty (*název*) ČVUT v Praze,
na oddělení pro vědeckou a výzkumnou činnost, *adresa*.

(jméno)
předseda komise pro obhajobu disertační práce
ve studijním oboru
název
Fakulta (*název*) ČVUT, *adresa*

* nehodící se vynechá

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 grafické 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.

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

1.1 Legislativní požadavky na konstrukce obvodových pláštěů s provětrávanou mezerou tuzemské legislativě

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

ČSN 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 pláštěů z panelů, zabudovaných skládaných obvodových pláštěů a zabudovaných obkladů obvodových pláštěů*“. Tato norma sice definuje základní názvosloví skládaných pláštěů, dvoupláštěových a vícepláštěových 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.:

- odvod kondenzátu, dešťové vody a odvětrání konstrukce
- tloušťka provětrávané mezery je explicitně stanovena pouze pro dřevěné fasádní obklady, v části věnované konstrukčnímu řešení 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.

Z hlediska praktické použitelnosti se jedná o poměrně strohou normu s tendencím a velice obecným výkladem požadavků na konstrukci obvodových pláštěů s větranou mezerou s důrazem na rozměrové požadavky tolerancí vzhledu skládaných obkladů tvořících vnější plášť dvou a vícepláštěových konstrukcí obvodových pláštěů. Pro vlastní konstrukci obvodových pláštěů s větranou mezerou tato norma nepředepisuje a nedoporučuje téměř nic a jako taková je pro běžnou projekční praxi prakticky nepoužitelná.

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.

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.

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 řadu tepelně-technických požadavků na kee obvodových plášťů.

c/ Část 3: Návrhové veličiny: 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. 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 zezávisle 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.

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.*“ 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.

1.2 Příklady zahraničních regulativů pro konstrukci obvodových plášťů s větranou mezerou

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 šíří 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.). 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.

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:

- 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)).

1.3 Příklady studií a analýz jiných subjektů

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. Rada 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 přírodních 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.

Výzkumné práce, analýzy a studie VUT v Brně: kolektiv autorů VUT v Brně – Šagát, Matějka, Pěncík – 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. Problematickou se zabývali v úrovni výpočtových modelů, parametrických studií, ale i měřením na experimentálních modelech.

- **parametrická studie**, publikovaná ve Stavebním obzoru 08/2013, 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.).

- **experiment**, publikovaný na serveru www.tzb-info.cz v r.2015 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 přírodních a odvodních otvorů napojení provětrávané mezery na vnější prostředí. Úbytek rychlosti proudění vlivem zúžení tloušťky provětrávané mezery nebo přírodních 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 konstrukci, 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 přírodních a odvodních otvorů napojení mezery na vnější prostředí. Záměrem architektonického řešení je většinou snaha co nejlépe tyto otvory skrývat. Tato snaha však může být s ohledem na zajištění proudění vzduchu v provětrávané mezeře kontraproduktivní.

Parametrické výpočtové a experimentální studie autor v roce 2016 shrnul do své dizertační práce. Cílem dizertační práce bylo vyhodnocení jednotlivých konstrukcí a materiálových variant obvodových pláštů s provětrávanou mezerou s ohledem na vyhodnocení vlivů na rychlost a teplotu vzduchu v mezeře a na teplotu povrchů k ní přiléhajících. Posuzovaným ročním obdobím bylo opět léto, autor se také snažil kvantifikovat dopad různých konstrukcí obvodových pláštů 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 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.

Autor posoudil poměrně široké spektrum aspektů majících vliv na návrh a chování dvouplášťových konstrukcí obvodových pláštů 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
- 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 (pasivních teplotních zisků) v letním období.

Autor v rámci svého navazujícího výzkumu za dobu od vypracování zmíněné dizertační práce jistě s největší pravděpodobností postoupil dále, nicméně jako velmi zajímavá se jeví případná 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 případně z kondenzované vlhkosti na vnitřním líci fasádního obkladu v zimním období.

2. CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Dizertační 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 totiž 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 zohledňujících 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 jejich 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 širší požadované subjektem vykonávajícím technický dozor investora a autorský dozor projektanta.

Podrobnější analýza poměrů v provětrávané mezeře dvouplášťových konstrukcí obvodových pláštů 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.

3. METODY ZPRACOVÁNÍ

3.1/ Výpočtový model

Pro potřeby disertační práce byl vytvořen 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 bytového domu nebo rodinného domku – tedy klasický vyzdívaný stěnový systém s použitím kusových staviv z novodobých keramických zdících materiálů

- např. obvodový plášť štitové stěny administrativní budovy, bytového domu, nebo obecně budovy občanské vybavenosti na způsob vyzdívaného skeletu dle obrázku níže:



Obr.1 - Příklad referenční fasády dvouplášťové konstrukce s větranou mezerou a s obkladem z vláknocementových desek Cembrit Solid - Hotel Miura, Čeladná.

Zdroj: fotoarchiv autora.

3.2/ Skladba konstrukce výpočtového modelu

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 mezere 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 vlákno cementových 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 $\lambda=0,087 \text{ W/mK}$. Započítatelným 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).

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 Teplo 2017 K-CAD s.r.o. byl, vyjma výše zmíněného posouzení doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla

$$U \leq U_{\text{rec},20} (\text{W/m}^2\text{K}),$$

stanoven i přídavný difúzní tok vodní páry do větrané mezery ze strany interieru $G_d = 8,369.10^{-8} \text{ kg/m}^2\text{s} = 0,000301 \text{ kg/m}^2\text{h} = 0,301 \text{ g/m}^2\text{h}$. 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 exterieru) (Obr. 2):

- vnitřní jednovrstvá sádrová strojní omítka: ref. CEMIX 016 F, tloušťka 10 mm ($\lambda_u=0,552 \text{ W/mK}$, $C_u=840 \text{ J/kgK}$, obj. hm.=1300 kg/m^3 , $\mu_u=5\dots$ parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)

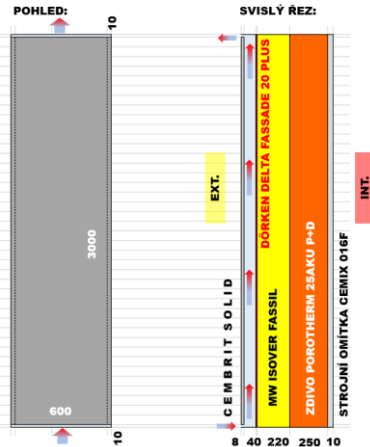
- zdivo z keramických zdících bloků: ref. Porotherm 25 AKU P+D, tl. 250 mm ($\lambda_u=0,36 \text{ W/mK}$, $C_u=1000 \text{ J/kgK}$, obj. hm.=980 kg/m^3 , $\mu_u=10\dots$ parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)

- tepelná izolace na bázi minerálních vláken: ref. ISOVER FASSIL, tl. 220 mm ($\lambda_u=0,037 \text{ W/mK}$, $C_u=800 \text{ J/kgK}$, obj. hm.=50 kg/m^3 , $\mu_u=1\dots$ 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 ($\lambda_u=0,170 \text{ W/mK}$, $C_u=1000 \text{ J/kgK}$, obj. hm.=930 kg/m^3 , $\mu_u=67\dots$ 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 ($\lambda_u=0,5 \text{ W/mK}$, $C_u=960 \text{ J/kgK}$ (z katalogu materiálů Teplo 2017 a Mezera 2017 K-CAD s.r.o. převzata hodnota pro azbestocementové desky), obj. hm.=1550 kg/m^3 , $\mu_u=400\dots$ parametry převzaty z katalogu materiálů Mezera 2017 K-CAD s.r.o.)



Obr. 2 - Schéma skladby a geometrie výpočtového modelu. Zdroj: autor.

3.3/ 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. 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. 3 - Schéma geometrie výpočtového modelu. Zdroj: autor.

3.4/ Orientace a sklon výpočtového modelu

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.

3.5/ Stínění 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.

3.6/ 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 $-28,2 W/m^2$ byl proveden v kroku po 2 až 3 °C výpočet pro několik vnějších teplot v rozptylu od +2 °C do -15 °C, pro které se hustota tepelného toku sáláním mezi vnějším povrchem konstrukce a oblohou pohybovala v rozmezí od $-28,1 W/m^2$ do $-28,5 W/m^2$:

| vnější teplota (°C) | ztrátový tepelný tok mezi noční oblohou a fasádou (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. 1 - 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 $-28,2 W/m^2$ 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.

3.7/ 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 $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ dle Tab. I.1/, ř.1.1./ ČSN 73 0540-3 pro obývací místnosti a kuchyně trvale užívaných místností obytných budov.
- Přírážka $\Delta\theta_{ai} = 0,6\text{K}$ 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 $T_{ai} = +20,6 \text{ }^\circ\text{C}$ jako výsledek $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C} + \Delta\theta_{ai} = 0,6 \text{ K}$.
- Relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\phi_i = 50 \text{ } \%$ dle Tab. I.1/, ř.1.1./ ČSN 73 0540-3 pro obývací místnosti a kuchyně trvale užívaných místností obytných budov.

3.8/ 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 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 W/m^2 , za dnů zatažených pak v rozmezí 40 až 200 W/m^2 .

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 (°C) | max (°C) | min (W/m ²) | max (W/m ²) | min (%) | max (%) | |
| listopad | 20.XI | teplý zatažený den | jih | -0,8 | 4,2 | 4 | 25 | 87,5 | 96,6 | zvýšená vlhkost |
| | 21.XI | teplý polojasný den | jih | 0,4 | 5,3 | 12 | 566 | 60,2 | 90,1 | |
| | 27.XI | chladný zatažený den | jih | -0,3 | 1,9 | 5 | 29 | 88,7 | 96,9 | zvýšená vlhkost |
| | 28.XI | studený zatažený den | jih | -1,7 | -0,1 | 7 | 103 | 83,2 | 96,6 | |
| prosinec | 22.XII | teplý polojasný den | jih | -3,2 | 3,6 | 7 | 856 | 68,1 | 94,2 | vítr min2,9/max9,9 m/s |
| | 23.XII | mrazivý polojasný den | jih | -11,2 | -3,5 | 8 | 662 | 65,1 | 91,8 | |
| | 24.XII | mrazivý jasný den | jih | -12 | -4,9 | 45 | 783 | 66,7 | 90,8 | |
| | 25.XII | mrazivý zatažený den | jih | -11,7 | -0,4 | 8 | 63 | 52,5 | 81,8 | |
| | 26.XII | chladný zatažený den | jih | -1 | 2,8 | 8 | 63 | 80 | 89,2 | vítr min2,9/max9,9 m/s |
| | 01.I | teplý zatažený den | jih | 1 | 4,8 | 4 | 29 | 76,5 | 94,7 | |
| | 03.I | teplý oblačný den | jih | 7,3 | 11,3 | 6 | 415 | 70,3 | 99,5 | |
| | 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 | |
| | leden | 15.I | jih | | | | 64 | 800 | | |
| 15.I | | mrazivý jasný den | | -9,6 | -1 | 22 | 475 | 49,1 | 100 | |
| 15.I | | dopočet východ dopočet západ | | | | 19 | 380 | | | |
| 16.I | | jih | | | | 42 | 739 | | | |
| 16.I | | mrazivý jasný den | | -7,7 | -0,9 | 20 | 437 | 66 | 100 | |
| 16.I | | dopočet východ 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 | |
| únor | 31.I | mrazivý jasný den | jih | -13,5 | -4,3 | 1 | 813 | 50 | 100 | |
| | 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 | 778 | 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. 2 – Přehled výpočtových stavů. Výběr z databáze referenčního klimatického roku pro lokalitu KÚ: Chodov 728 225, Obec: Praha 554 782

4. VÝSLEDKY

4.1/ Rozsah provedených analýz

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.

Výsledky výpočtů jsou přehledně zpracovány ve dvou úrovních:

- **první úroveň** je tabulkové a grafické zpracování výsledků jednotlivých výpočtových stavů (dnů) stanovených v kapitole C/. Výsledky pro každý výpočtový stav jsou doprovázeny podrobným komentářem z hlediska jednotlivých sledovaných veličin.

- **druhou úroveň** jsou pak formálně stejným způsobem zpracovány tři série několika po sobě jdoucích dnů. V tomto případě jsou pak analyzovány nejen konkrétní veličiny, sledované v první úrovni, ale také jejich vzájemná souvislost mezi jednotlivými dny sledovaných period.

Sledované veličiny byly analyzovány nejen v jejich absolutních dosažených hodnotách, ale také v jejich diferencích v konkrétním čase. Toto hledisko je pro posouzení materiálového a technického řešení konstrukce také velmi důležité.

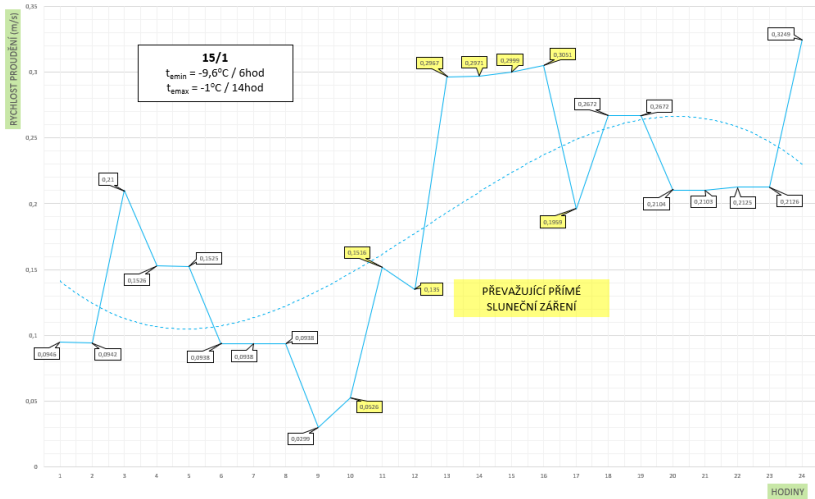
4.2/ Příklad analýzy jednoho z výpočtových stavů – mrazivý jasný den 15. ledna

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/m² svíslé plochy fasády a dominantní složku přímého slunečního záření v řádech stovek W/m² 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 tabulce níže:

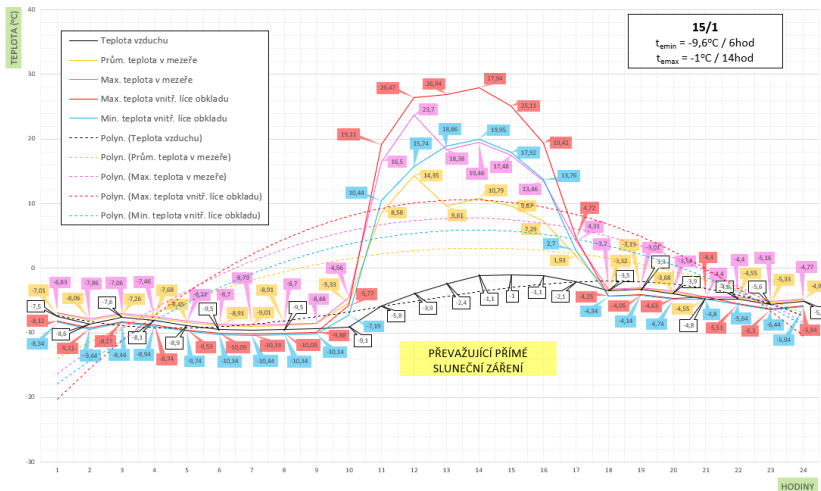
| Den | | Měsíc | | Hodina | | Teplota | | Relativní | | důležitá zátěž | | Rychlost | | Směr | | Typ zat. | | MRAZIVÝ JASNÝ DEN - 15. LEDNA - JIŽNĚPÁSMÁ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-------|------|---------|-----|------------------|-----|------------------|-------|------------------|-------|------------------|--------|------------------|-------|------------------|------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|---|---|---|---|
| | | | | vzduchu | | vlhkost | | přítoků | | vstříkání | | vzduchu | | větru | | tep. tab. | | Přím. | Mraz. | Max. teplota | Přím. vstříkání | Min. teplota | Max. teplota | Min. vlhkost | Max. vlhkost | Kondenzace na | Kondenzace na | | | | | | | | | | |
| | | °C | | % | | W/m ² | | W/m ² | | W/m ² | | W/m ² | | W/m ² | | W/m ² | | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | W/m ² | | | | | |
| 15 | 1 | 0 | -2,5 | 90,6 | 0 | 3,80 | 70 | -28,2 | -2,01 | -7,5 | -6,82 | 0,0945 | -8,34 | -8,12 | 86,2 | 80,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| 15 | 1 | 1 | -6,6 | 86,2 | 0 | 3,80 | 60 | -28,2 | -6,06 | -6,6 | -7,86 | 0,0945 | -9,44 | -9,21 | 89,8 | 86,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 15 | 1 | 2 | -7,6 | 87,5 | 0 | 3,80 | 70 | -28,2 | -7,26 | -7,6 | -7,08 | 0,1 | -8,44 | -8,27 | 89,3 | 87,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 15 | 1 | 3 | -6,1 | 90,9 | 0 | 3,80 | 70 | -28,2 | -7,68 | -6,1 | -7,46 | 0,1026 | -8,94 | -8,74 | 87,9 | 90,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 15 | 1 | 4 | -8,9 | 96,6 | 0 | 3,80 | 60 | -28,2 | -8,45 | -8,9 | -8,21 | 0,1035 | -9,74 | -9,53 | 93,6 | 96,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 15 | 1 | 5 | -5,5 | 90,9 | 0 | 3,80 | 70 | -28,2 | -8,91 | -5,5 | -8,7 | 0,0938 | -10,14 | -10,09 | 89,2 | 90,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | 1 | 6 | -3,4 | 90,6 | 0 | 3,80 | 20 | -28,2 | -9,11 | -3,4 | -8,79 | 0,0958 | -9,74 | -9,58 | 96,6 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | 1 | 7 | -9,5 | 96,3 | 0 | 3,80 | 40 | -28,2 | -8,91 | -9,5 | -8,7 | 0,0938 | -10,14 | -10,09 | 84,4 | 96,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | 1 | 8 | -9,9 | 89,7 | 0 | 3,80 | 50 | -28,2 | -8,96 | -9,9 | -8,68 | 0,0956 | -10,14 | -10,08 | 89,3 | 89,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 9 | -9,1 | 100 | 64 | 0,80 | 50 | 0 | -5,33 | -9,1 | -4,56 | 0,0526 | -7,19 | -5,77 | 71,9 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 10 | -5,8 | 78,3 | 211 | 0,80 | 80 | 0 | 0,61 | -8,58 | -5,8 | 1,65 | 0,1036 | 10,44 | 10,11 | 76,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 11 | -3,9 | 65,2 | 739 | 0,80 | 80 | 739 | 13,35 | -3,9 | 23,7 | 0,105 | 15,74 | 16,47 | 100 | 65,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 12 | -2,4 | 59,9 | 800 | 0,80 | 80 | 800 | 9,61 | -2,4 | 19,38 | 0,2067 | 18,86 | 19,94 | 10,9 | 59,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 13 | -1,1 | 51,8 | 799 | 0,80 | 100 | 799 | 10,79 | -1,1 | 19,68 | 0,2071 | 19,99 | 20,66 | 0 | 51,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 14 | 1 | 49,6 | 712 | 0,80 | 80 | 712 | 9,67 | 1 | 17,48 | 0,1999 | 17,92 | 18,11 | 14,2 | 49,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 15 | -1,1 | 59,9 | 599 | 1,80 | 70 | 599 | 7,29 | -1,1 | 15,46 | 0,1051 | 13,76 | 13,42 | 18,5 | 59,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 16 | -2,1 | 59,6 | 161 | 3,80 | 80 | 161 | 1,93 | -2,1 | 4,31 | 0,1999 | 2,7 | 4,72 | 37,7 | 59,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 17 | -3,6 | 66 | 0 | 4,80 | 80 | 0 | -3,82 | -3,6 | -3,3 | 0,1027 | -4,64 | -4,37 | 69,4 | 66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 18 | -3,3 | 70,8 | 0 | 4,80 | 80 | 0 | -3,18 | -3,3 | -3,01 | 0,2472 | -4,44 | -4,05 | 70,1 | 70,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 19 | -3,9 | 82,6 | 0 | 3,80 | 60 | 0 | -2,82 | -3,9 | -3,54 | 0,1104 | -4,74 | -4,63 | 82,4 | 82,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 20 | -8,8 | 81,4 | 0 | 3,80 | 80 | 0 | -2,82 | -8,8 | -8,4 | 0,1101 | -4,8 | -4,8 | 80,1 | 81,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 21 | -8,8 | 81,4 | 0 | 3,80 | 100 | 0 | -2,82 | -8,8 | -8,4 | 0,1125 | -5,04 | -5,51 | 80 | 81,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 22 | -5,8 | 89,5 | 0 | 3,80 | 90 | 0 | -2,82 | -5,8 | -5,6 | 0,1026 | -5,44 | -5,6 | 87,6 | 89,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 23 | -5,1 | 87,4 | 0 | 3,80 | 220 | 0 | -2,82 | -8,91 | -5,1 | -4,77 | 0,1026 | -5,84 | -5,84 | 87,6 | 87,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tab. 3 – Přehled datových řad výpočtového stavu mrazivého jasného dne 15. ledna

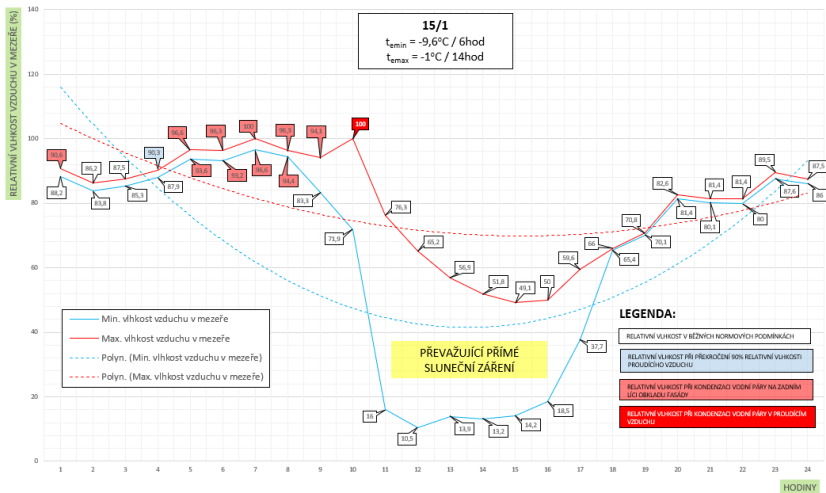
Na základě výpočtu příslušných datových řad pak byly generovány grafy pro rychlost proudění v mezeře, teplotní a vlhkostní pole v prostředí mezery a příslušný průběh tepelného toku mezi fasádou a oblohou:



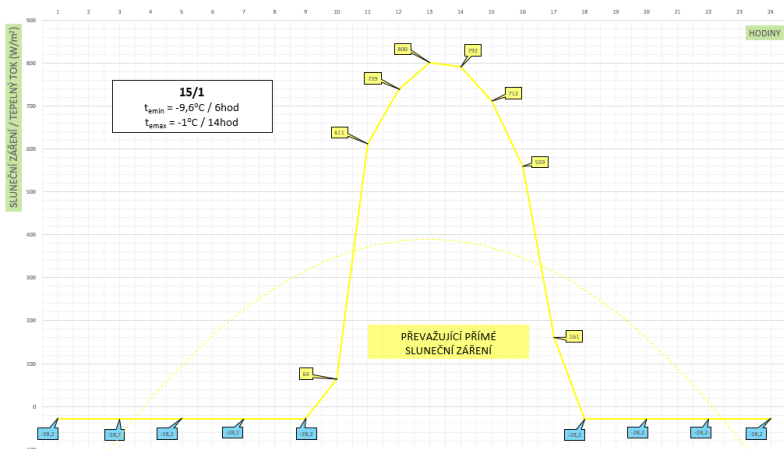
Obr. 4 – Mrazivý jasný den 15. ledna – jižní fasáda – rychlost proudění v mezeře.
 Zdroj: autor.



Obr. 5 – Mrazivý jasný den 15. ledna – jižní fasáda – teplotní pole provětrávané mezery.
 Zdroj: autor.



Obr. 6 – Mrazivý jasný den 15. ledna – jižní fasáda – vlhkostní pole provětrávané mezery. Zdroj: autor.



Obr. 7 – Mrazivý jasný den 15. ledna – jižní fasáda – tepelný tok mezi fasádou a oblohou. Zdroj: autor.

Příslušné výsledky byly dále náležitě komentovány:

- **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/m² svislé plochy fasády (ve vyznačených položkách), max. 800 W/m² 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. Δt (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. Δt (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 10,87krát.
- **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.

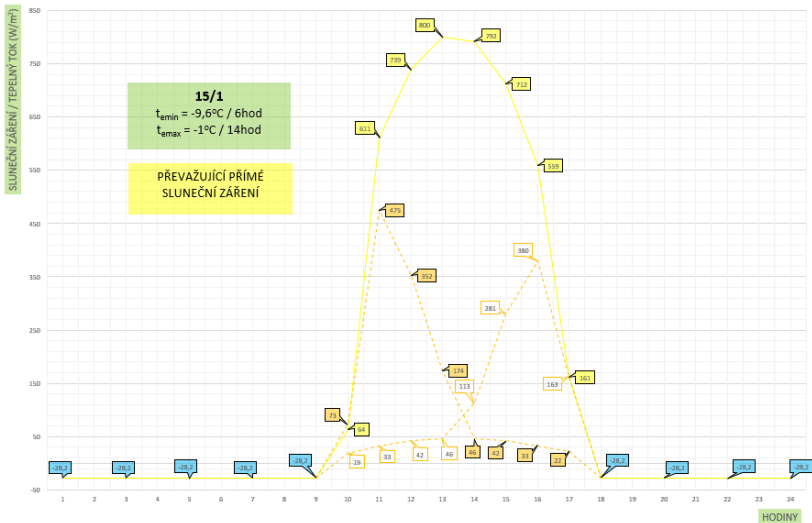
Hlavní výpočty byly provedeny pro jižní fasádu. Pro účely analýzy poměrů v provětrávané mezeře východní a západní fasády byl ve vybraných hodinách jednoho výpočtového stavu pro mrazivý jasný den 15. ledna (v návaznosti na průběh oslunění východní a západní fasády) proveden dopočet parametrů v provětrávané 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).

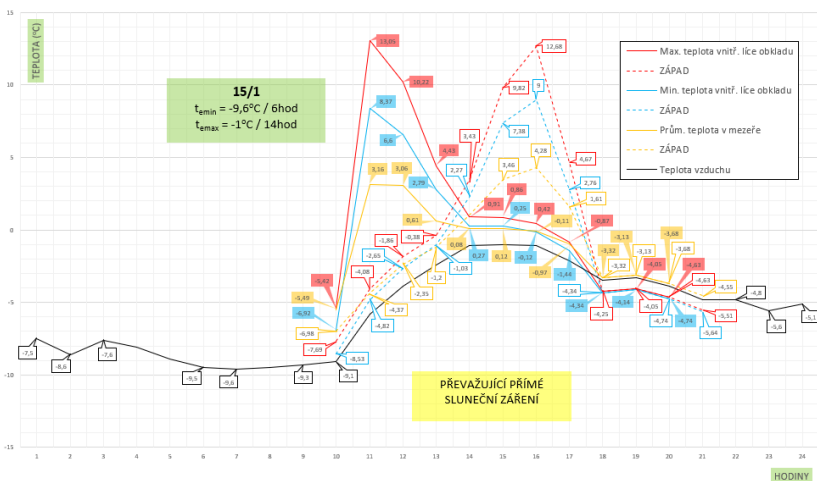
Na základě vypočtených dat bylo konstatováno, že:

- 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



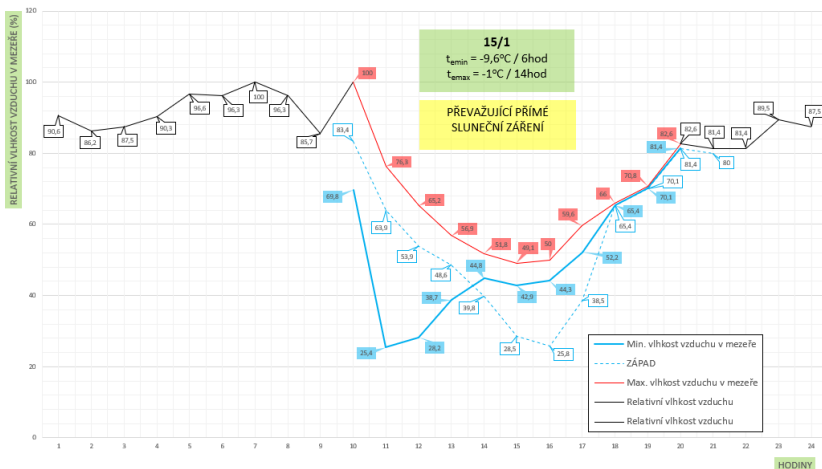
Obr. 8 – Tepelný tok mezi fasádou a oblohou – srovnání V-J-Z fasády 15. ledna.
Zdroj: autor.

- z hlediska orientace jednotlivých fasád ke světovým stranám, denního chodu Slunce a průběhu venkovní teploty se jedná o očekávaný průběh teplotního pole



Obr. 9 – Teplotní pole v prostředí provětrávané mezery – srovnání V-J-Z fasády 15. ledna. Zdroj: autor.

- 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



Obr. 10 – Vlhkostní pole v prostředí provětrávané mezery – srovnání V-J-Z fasády 15. ledna. Zdroj: autor.

Obdobným způsobem byly zpracovány i výsledky datových řad pro tři série několika po sobě jdoucích dnů. V tomto případě jsou pak analyzovány nejen konkrétní veličiny, sledované v první úrovni, ale také jejich vzájemná souvislost mezi jednotlivými dny sledovaných period.

5. ZÁVĚR

V závěrečné části práce bylo provedeno zhodnocení vlivu okrajových podmínek vnějšího prostředí vedoucích k výskytu kolizních jevů v prostředí provětrávané mezery a majících vliv na průběh teplotního a vlhkostního pole prostředí provětrávané mezery v zimním období.

5.1/ Vliv slunečního záření na výskyt kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády

- 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.

5.2/ Vliv tepelného toku mezi fasádou a oblohou na výskyt kondenzace na vnitřním líci obkladu fasády

- záporný tepelný tok mezi povrchem fasády (obkladem fasády) a noční oblohou je v podstatě projevem studeného sálání, tedy odebrání 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 interiéru 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.

5.3/ 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 difference mezi jednotlivými křivkami teplotního pole a vůči křivce průběhu vnější teploty. Tyto difference 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.

5.4/ 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 dávkách 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.

5.5/ Vliv oslunění fasády na rychlost proudění vzduchu v provětrávané mezeře

- 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).

5.6/ Doporučení směřující ke konstrukčním charakteristikám konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou

- 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 $\varphi_{ev} < 90$ % 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 rozdílů 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 3krát až 5krát 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.

5.7/ Doporučení směřující ke materiálovým charakteristikám konstrukce obvodového pláště s provětrávanou mezerou

a/ reakce na vlhkostní pole prostředí provětrávané mezery: vzhledem k tomu, že období výskytu dosažení varovného stavu $\varphi_{ev} < 90\%$ 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 jeho kotvící 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.

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.

b/ 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 velké 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.

5.8/ 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 užité 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, vytčené 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.

Seznam v tezích použité literatury

ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov: Část 1: Terminologie. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

ČSN 73 0540-4. Tepelná ochrana budov: Část 4: Výpočtové metody. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

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.

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.

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. Začátek formuláře

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.

Pražské stavební předpisy s aktualizovaným odůvodněním. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy. ISBN 978-80-87931-57-8.

PUŠKÁR, Anton. Obvodové pláště budov - fasády. Bratislava: Jaga, 2002. ISBN 80-88905-72-9.

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/teplna-technika/fotovoltaika/>

SVOBODA, Zbyněk. Mezera 2017. Kladno: Svoboda software. Dostupné také z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/teplna-technika/mezera/>

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. Disertace. VUT Brno Fakulta stavební. Vedoucí práce Libor Matějka.

ŠAGÁT, Erik a Libor MATEJKA. 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.

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].Dostupnéz: https://www.fvhf.de/Fassade-bilder/docs/VHF-System-und-Brandschutz_0617.pdf

Seznam prací dizertanta vztahujících se k dizertaci:

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 zaslavněný 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 zaslavněna Licenční smlouvou č.241/21 mezi zpracovatelem a vydavatelem Grada Publishing, a. s. Publikace bude obsahovat historický vývoj obvodových pláště 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 pláště 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 pláštěů apod.

4/ Publikační činnost v odborných časopisech.

