



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## ENERGETICKÉ VYUŽITÍ FASÁDY

ENERGY USE OF THE FACADE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Radek Salajka**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.**

**BRNO 2022**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav technických zařízení budov  
Student: **Bc. Radek Salajka**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.**  
Akademický rok: 2022/23  
Studijní program: N0732A260023 Stavební inženýrství – pozemní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Energetické využití fasády

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řešení zadaného tématu z oblasti TZB za využití literární rešerše, zpracování variantního technického návrhu řešení zadané části specializace systému TZB a dílčího úkolu ze zadaného tématu řešeného experimentálními nebo teoretickými prostředky, příp. prováděcí projektu.

### Cíle a výstupy diplomové práce:

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení (podíl 20 %)

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku.

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení (podíl 40 %)

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Dílčí úkol ze zadaného tématu (podíl 40%) zpracovaný teoretickými či experimentálními metodami, příp. prováděcí projekt zadané profese. Konkrétní náplň stanoví vedoucí práce.

### Seznam doporučené literatury a podklady:

1. Stavební dokumentace zadané budovy

2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 21. 2. 2022

L. S.

---

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.  
vedoucí ústavu

---

doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Hlavním motivem této diplomové práce je rozšíření povědomí o větraných fasádách, jejich použití a porovnání s kontaktním zateplovacím systémem. Tomuto se věnuji v teoretické části. Jako rozšiřující klíčové téma je popis jednotlivých fyzikálních dějů přítomných na fasádě a v její větrané mezeře na základě výstupů z dat získaných měření. Získávání dat probíhalo odbornou skupinou přímo na stávající větrané fasádě v průběhu roku - detailněji v textu. Výzkumu těchto dat jsem byl přímým účastníkem a podrobnější rozbor popisuji ve třetí experimentální části této diplomové práce. V praktické části se věnuji použití nově získaných poznatků na zadané budově. Konkrétně číselně prezentuji energetické využití zadané fasády v porovnání s kontaktním zateplením na té samé budově za stejných okrajových podmínek.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Energie, fasáda, provětrávaná, větraná, odvětraná, energetická bilance, úspora, šetření, stavební fyzika, fyzikální děje ve stavebnictví, izolace, ETICS, zateplení, proudění vzduchu v mezeře, vzduchová mezera, sluneční záření, pohltivost materiálu, součinitel pohltivosti materiálu, součinitel přestupu tepla, roční energetická bilance, obložení fasády, povrchová teplota, efektivita, vytápění, chlazení, rozdíl teplot po výšce, komínový efekt, měření teplot, čidla, vliv venkovního prostředí na budovu

## **ABSTRACT**

The main motive of this master's thesis is expanding awareness of ventilated facades and their use and comparison with external thermal insulation composite system (ETICS). I mention this in theoretical research. As an expansion to theory and a key theme of this thesis is a description of individual physical events present on the facade and in its ventilated gap based on data output from measurement. The data gathering was made by a group of professionals who have done an on-point facade measurement on a real ventilated facade throughout a year - more detail in text. I personally have been a part of a research team and I describe my work and research in detail in the third part of this master's thesis - experimental part. In practical part I devote myself to use our new knowledge on a given building. More precisely - I use numerical calculations to present energy use of of given facade in comparison with ETICS on the same building with the same boundary conditions.

## **KEYWORDS**

Energy, facade, ventilated, energy balance, savings, construction physics, physical processes in the construction industry, insulation, ETICS, air flow in ventilated cavity, ventilated gap, ventilated chamber, solar irradiance, material absorption, extinction coefficient, convection heat transfer coefficient, annual energy balance, facade cladding, surface temperature, efficiency, heating, cooling, temperature difference by height, chimney effect, temperature measurement, sensors, the influence of the outdoor environment on the buildings

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

### Citace tištěné práce:

SALAJKA, Radek. *Energetické využití fasády*. Brno, 2023. 103 s., 23 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Aleš Rubina.

### Citace elektronického zdroje:

SALAJKA, Radek. *Energetické využití fasády* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/143076>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Aleš Rubina.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Energetické využití fasády* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Radek Salajka  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Energetické využití fasády* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Radek Salajka  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za veškerou pomoc, čas a trpělivost, poskytnuté cenné materiály, přístupy k softwarům a velkou podporu, kterou mi věnoval v průběhu mého studia a tvorby diplomové práce. Dále bych chtěl věnovat vděk Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za pomoc s diplomovou prací i ve studiu a za vedení části výzkumu, na které jsem se podílel, Ing. Pavlovi Uherovi, Ph.D. za materiální a technickou podporu a Ing. Petrovi Blasinskimu, Ph.D. za tvorbu a poskytnutí softwaru a pomoc při práci s tímto programem. Své poděkování chci také věnovat své přítelkyni, kamarádům a rodině za podporu při studiu.

Děkuji. Bez vás by to nešlo.

# Obsah

A. Teoretická část – analýza tématu	11
1. Historie fasád	12
1.1. Počátky stručně	12
1.2. Počátky zateplení budovy	13
1.3. Současnost	14
2. Druhy fasád	17
2.1. Tradiční fasáda	17
2.2. Prefabrikované/obkládané fasády	19
2.3. Sendvičové zdivo	22
2.4. Zelené fasády	23
2.5. Vnější kontaktní zateplení (ETICS) obecně	26
2.6. Lehké obvodové pláště (LOP)	26
2.7. Větrané fasády obecně	29
2.8. Speciální fasády	29
3. Vlivy působící na fasádu	37
3.1. Sluneční záření	37
3.2. Voda, déšť	38
3.3. Vítr	39
3.4. Hluk	40
3.5. Mikroorganismy	40
3.6. Lidé a zvěř	40
4. ETICS	41
5. Větrané fasády	43
B. Praktická část – aplikace tématu na zadané budově	56
1. Zadání	57
2. Vstupní hodnoty a okrajové podmínky	59
2.1. Parametry budovy a řešených prostor	59
2.2. Parametry větrané fasády (návrh)	59
2.3. Parametry fasády podle orientace ke světovým stranám:	60

3.	Výpočet tepelných ztrát podle ČSN 12 831	61
3.1.	Součinitel prostupu tepla U	61
3.2.	Tepelné ztráty stávající budovy	63
3.3.	Návrh tloušťky tepelné izolace pro ETICS	65
4.	Výpočet tepelných zisků podle ČSN 73 0548	66
4.1.	Vstupní hodnoty	66
4.2.	Výpočet	67
4.3.	Návrh systému chlazení a vytápění	69
4.4.	Systém větrané fasády	70
5.	Vyhodnocení	72
5.1.	Poloha klapky chytré fasády	72
5.2.	Potřeba energie fasád	73
5.3.	Ekonomické zhodnocení	74
6.	Závěr	75
C.	Experimentální část – dílčí úkol	76
1.	Úvod	77
1.1.	Získávání dat	77
1.2.	Zpracování dat	79
1.3.	Úkoly	79
2.	Výsledky	81
2.1.	Porovnání teploty venkovního vzduchu a teploty vzduchu v mezeře	81
2.2.	Porovnání intenzity sluneční radiace, teploty na vnějším povrchu fasádního obkladu a teploty vzduchu v mezeře	83
2.3.	Rozdíl teplot mezi horní a dolní částí fasády – výška fasády 14 m	86
2.4.	Povrchová teplota na vnější straně obkladu	90
2.5.	Porovnání teploty v mezeře a v tepelné izolaci	95
3.	Závěr	98
	Zdroje:	99
	Seznam příloh:	103

## Úvod

Tato diplomová práce rozebírá význam použití větraných fasád, jejich rozdělení a porovnání s kontaktním zateplovacím systémem (ETICS). Popisuje využívání tepelné energie budovy s větranou fasádou, které se ještě jinak říká odvětrávaná, provětrávaná, předsazená, zavěšená...

K tomuto tématu jsem se dostal po nabídce pomoci na výzkumu za podpory projektu TAČR číslo FW03010062: Chytrá fasáda s optimalizovanými energetickými vlastnostmi. Stal jsem se tak členem výzkumného týmu, který pracuje na měření dat z již postavených fasád a tato data dále zpracovává. Necitované myšlenky, informace, poznatky, materiály a fotografie jsou buď mé vlastní nebo jsou aktuálním výsledkem či produktem vědeckého týmu z probíhajícího výzkumu a používám je v diplomové práci se svolením týmu.

Pro zpracování této diplomové práce byly poskytnuty slepé matrice půdorysů objektu v elektronické podobě, který používám v praktické části. Pro kalkulace jsem použil pokročilou verzi softwaru FSVM 2.0, kterého vývoj probíhá za podpory výše jmenovaného projektu TAČR s číslem FW03010062. Software je podporovaný Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě a základní verze je volně dostupná online na adrese „<https://profesis.ckait.cz/r-5-2/>“. Přístup mi byl udělen jako členovi týmu. Pro vypracování experimentální části, naplnění požadavků mojí práce ve výzkumu a zpracování dat jsem použil interní software vytvořený doktorem Blasinskim v aplikaci Microsoft Excel. Detaily a výkresy byly mnou vytvořeny ve výukové verzi softwaru GRAPHISOFT ArchiCAD.

Diplomová práce sestává ze tří částí:

- Část A: Teoretická,
- Část B: Praktická,
- Část C: Experimentální.

Teoretická část popisuje základní poznatky o fasádách se specifickým zaměřením na větrané fasády. Je zde popsán ETICS, druhy předsazených fasád, vývoj a význam použití těchto systémů.

Praktická část obsahuje využití výše jmenovaného softwaru FSVM 2.0, který vzešel z našeho výzkumu, pro výpočet energetické bilance a dalších užitečných dat při použití větrané fasády nebo ETICS na pětipodlažní školní budově, případně jaké jsou požadavky na energii bez použití těchto systémů ve skutečném provedení této budovy (podle dostupné projektové dokumentace).

Součástí experimentální části je popis většiny mých dosažených výsledků či použitých postupů při vlastní práci na výzkumu. Použité výsledky byly použity pro vývoj zkoumaného softwaru podle popisu projektu FW03010062.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## ČÁST A – TEORETICKÁ ČÁST

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ FASÁDY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Radek Salajka**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.**

**BRNO 2022**

## A. Teoretická část – analýza tématu

### 1. Historie fasád

#### 1.1. Počátky stručně

V minulosti se v našich končinách používala ke stavbě budov především hlína s obsahem jílu či kamenné materiály spojené vápennou maltou. Ochranu obvodových konstrukcí těchto staveb především proti povětrnostním vlivům zajišťovalo už v minulosti omítání fasád vápennou omítkou. Tato technologie byla nejrozšířenější svého druhu v době románské až do konce 19. století [1]. Dodnes lze tyto staré omítky vidět použité na dochovaných stavbách a památkách a stále vykazují dobré vlastnosti, často ale i díky skvělé práci restaurátorů. Vápno se i nadále používá jako významná složka současných omítacích směsí.



Obr. 1 – práce na restaurování omítky historické budovy [2]

Kromě vápenné omítky se ještě používala hliněná omítka z hlíny obsahující jíl. Samotná hlína se nedá používat pro omítání kvůli její velké smrštivosti. Vznikaly by tak četné trhliny v omítce, případně její samovolné zboření. Do hlíny se tak přidával písek jako plnivo, který výrazně omezoval její smršťování. Další přísady mohli být konopí nebo sláma, které do jisté míry vyztužovali omítku a bránili dalšímu vzniku trhlin. Případně se mohlo použít koňského či kraviho hnoje, což udělalo omítku pružnější. Tato omítka se dělala v tloušťce 2 až 3 cm.

## 1.2. Počátky zateplení budovy

V dobách, kdy oblečení ještě nebylo tolik dostupné, si už naši předci dokázali poradit. Využívali k tomu právě přírodní materiály. Spáry mezi zdíciými prvky byly vymazávány mechem a používaly se materiály s (nejspíš citelně) horší tepelnou vodivostí. Kontaktní zateplování bylo dříve například řešeno mechanickým připevňováním dřevovláknitých desek k povrchu zdi. Ty se pak vyztužily rabicovým pletivem a na závěr se použila silná vrstva omítky. K syntetickým materiálům, jakým jsou polystyrenové desky, se téma zateplování budov dostalo až v padesátých letech minulého století. V roce 1957 byl na rodinném domku poprvé použitý polystyren jako tepelně izolační materiál.[3]

U nás se dodatečně zateplovat začalo až v 70. letech po prokazatelně špatných tepelných vlastnostech prefabrikovaných panelových domů z 50. a 60. let. Zateplovalo se použitím pórobetonových desek zvenčí, aby se fikaně posunul rosný bod z interiéru na obvodovou zeď, ale kotvení bylo natolik nedokonalé, že se tyto přiložené příčky začali bořit. Následné použití polystyrenu u nás ve stavebních konstrukcích nebylo příliš oblíbené, kvůli nedostatečným vlastnostem izolantu a vrátilo se až po revoluci, kdy se na náš trh dostaly již lepší a i vědou odzkoušené materiály.[3]

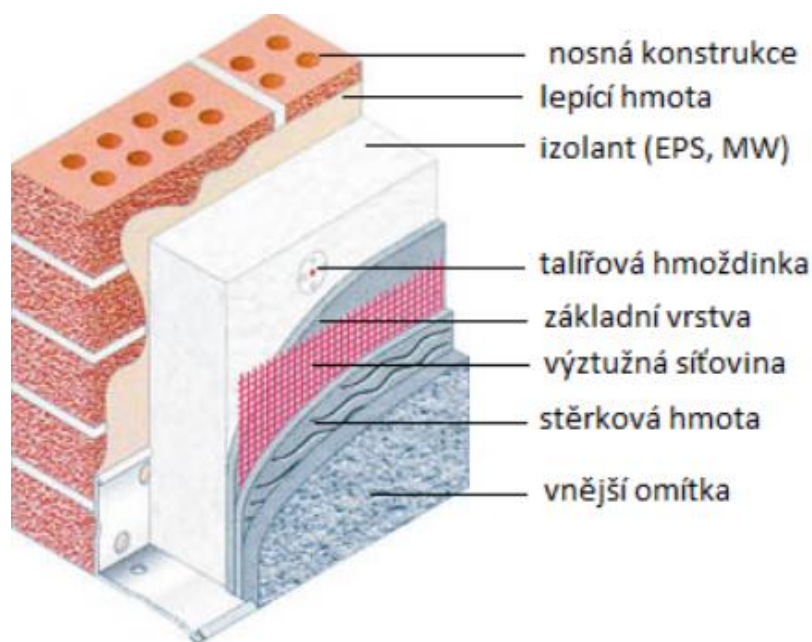


Obr. 2 – dvojdom s půlkou fasády v originálním stavu a s půlkou po zateplení polystyrenovými deskami [4]

### 1.3. Současnost

Dnes už je u nás i ve světě celá řada výrobců, kteří nabízejí různé materiály s různými vlastnostmi a aplikacemi. Oproti minulosti jsou tyto systémy komplikovanější ale daleko sofistikovanější a efektivnější. Dříve se stavěly spíše homogenní, mohutné obvodové zdi o velkých tloušťkách. Dnes, s ohledem na ekologický dopad výstavby, výroby jednotlivých materiálů a ekologii užívání budovy, dostáváme možnost dosáhnout optimálního tepelného komfortu za cenu nižší zátěže životního prostředí a také menší prostorové náročnosti stavby. I díky tomu dnes například v průmyslu stavíme sofistikované haly místo velkých hradů.

Konkrétněji je kladen důraz na energetickou náročnost budovy. Kontaktní zateplení je pro svou jednoduchost a relativně malé finanční náklady u nás maximálně oblíbený. Dá se použít jak u návrhu novostavby tak i u rekonstrukce stávajícího objektu, pokud to dovolí památková péče a urbanistické řešení stavby. Hlavní složkou návrhu kontaktního zateplovacího systému tak jak ho známe dnes (zkratka ETICS – external thermal insulation composite system) je samotný izolant. Jeho klíčovou vlastností je veličina s názvem „součinitel tepelné vodivosti materiálu“ popisovaná symbolem  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Čím nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti materiál má, tím vykazuje lepší tepelný odpor. Lidově řečeno „lépe izoluje“. U pěnoplastických materiálů jako jsou polystyrenové desky bývá hodnota deklarovaného součinitele kolem  $\lambda = 0,040$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ], u minerální vlny pak  $\lambda = 0,050$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]. Lze však u těchto obou nejčastějších variant na trhu nalézt produkty s lepšími i horšími hodnotami tepelné vodivosti. Modernizace a vývoj materiálů neustále rostou kupředu, tak se tepelné vlastnosti izolantů mohou dále měnit.



Obr. 3 – vizualizace skladby vnějšího kontaktního zateplovacího systému [5]

Kontaktní zateplení může být nejenom vnější ale i vnitřní. Myslí se tím samotné použití izolantu na obvodové konstrukci na stranu interiéru. Tento typ je méně efektivní, ale i přesto dokáže konstrukci dostatečně tepelně izolovat. Zpravidla se používá tam, kde by jiná varianta tepelné izolace byla nemožná nebo příliš nákladná.

Široký sortiment mezi výrobci mají také tepelně izolační omítky. Fungují na bázi tradičních minerálních omítek s plnivou z polystyrenu či perlitu. Samotný materiál omítky má tedy nižší hodnotu součinitele tepelné vodivosti. Ta je zhruba dvojnásobná oproti minerální vatě ( $\lambda = 0,090 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ ). Tepelněizolační omítka se spíše používá jako doplněk k celkovému tepelně izolačnímu řešení stavby a ne jako samotná izolace. Například pro dosažení stejných izolačních vlastností jako 100 mm minerální vaty by musela být tepelně izolační omítka 200 mm tlustá. Vychází se ze vzorce pro výpočet součinitele prostupu tepla. Použití tepelně izolační omítky podle umístění na konstrukci je vhodné jak ze strany exteriéru tak ze strany interiéru.

Právě zmiňovaný součinitel prostupu tepla značený  $U \text{ [W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$  (dříve značeno „ $k$ “) je nejpoužívanější veličinou pro stanovení vlastnosti konstrukce propouštět tepelnou energii ve  $W$  na  $1 \text{ m}^2$  své plochy při změně teploty o  $1 \text{ K}$ . Norma ČSN 73 0540-2:2011 stanovuje požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé druhy konstrukcí budov s návrhovou vnitřní teplotou od  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  včetně. Hodnota „ $U$ “ se počítá podle následujícího vzorce:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}}} \text{ [W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$$

$\alpha_{int}$  – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce  $[\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$

$\alpha_{ext}$  – součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce  $[\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$

$d_i$  – tloušťka  $i$ -té vrstvy konstrukce  $[\text{m}]$

$\lambda_i$  – součinitel tepelné vodivosti materiálu  $i$ -té vrstvy konstrukce  $[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$

Hodnoty odporu při přestupu tepla ( $R = \frac{1}{\alpha}$ ) pro zjednodušení stanovuje tabulka podle ČSN 73 0540-3.

Při zadání okrajových podmínek (i těch normativních) a známých vrstev konstrukce s jejich vlastnostmi nám v návrhu zůstává jediná neznámá  $d_i$  u izolantu. Tato hodnota nám právě udává potřebnou tloušťku izolace.

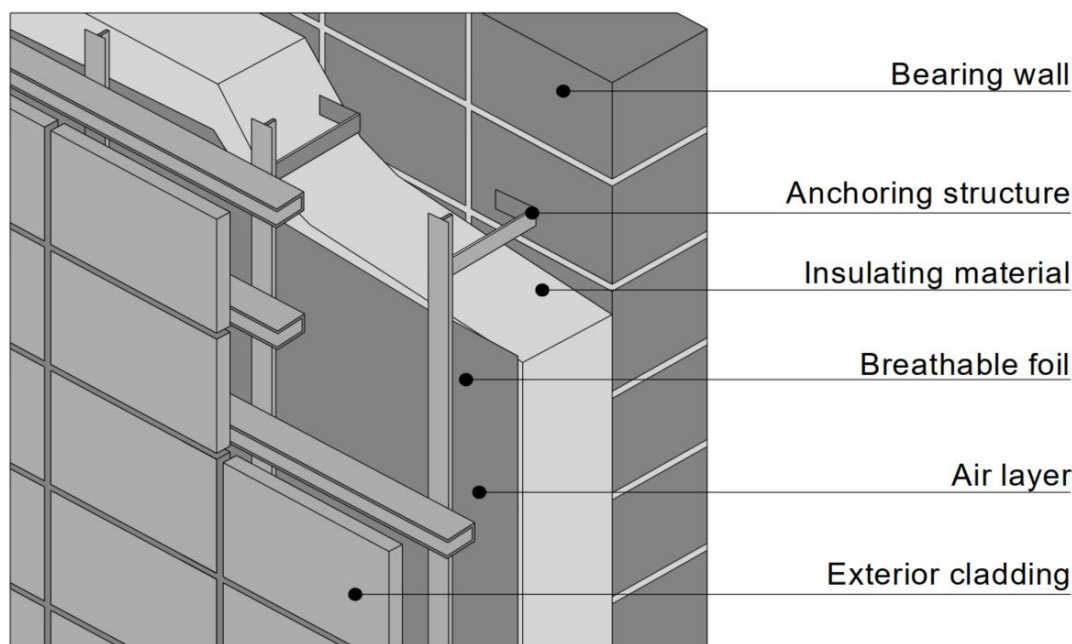
Vliv na součinitel prostupu tepla má především návrh samotné obvodové konstrukce. Spousta druhů a variabilit konstrukčního řešení pro různé budovy znamená obsáhlý soubor informací, který nám napovídá jakou možnost zvolit při samotném návrhu. Řešení

a popis druhů obvodových konstrukcí z tepelně technického hlediska není předmětem této diplomové práce. Dále se tedy budu věnovat především fasádám.

Dalším systémem jsou provětrávané fasády. Pracují na principu předsazení konstrukce vnějšího pláště a zajištění pohybu vzduchu mezi opláštěním a tepelnou izolací přítomnou na nosné konstrukci. Tento důmyslný systém je atraktivní z estetického hlediska a proměnlivý proud vzduchu zajišťuje v různých vnějších podmínkách různé vlastnosti fasády – při správném provedení fasády to jsou pozitivní vlastnosti z pohledu uživatele budovy.

V létě proud vzduchu zabraňuje přehřívání obvodové konstrukce a následnému vysokému tepelnému zisku směrem do budovy – nižší potřeba chlazení. V zimě vytváří předsazený plášť a vzduchová mezera jakousi bariéru navíc proti nežádoucím povětrnostním vlivům, které by mohly více ochlazovat budovu. Podrobnější vizualizaci naměřených dat zahrnuji ve třetí – experimentální části této diplomové práce.

Ačkoliv je vzduchová mezera zpravidla uzavřená, přes spáry v obkladových materiálech, dilatační spáry nebo mřížky na vstupním a výstupním otvoru větrané mezery, tak se při určitých podmínkách může stát, že proniknou kapky vody dovnitř fasády anebo začne negativně působit vzdušná vlhkost uvnitř větrané mezery. Pro takové případy je tepelná izolace – minerální vlna (z protipožárního hlediska) – opatřena difúzní folií nepropouštějící vodu a vzdušnou vlhkost dovnitř tepelně izolované konstrukce.



Obr. 4 – jednotlivé prvky větrané fasády [6]

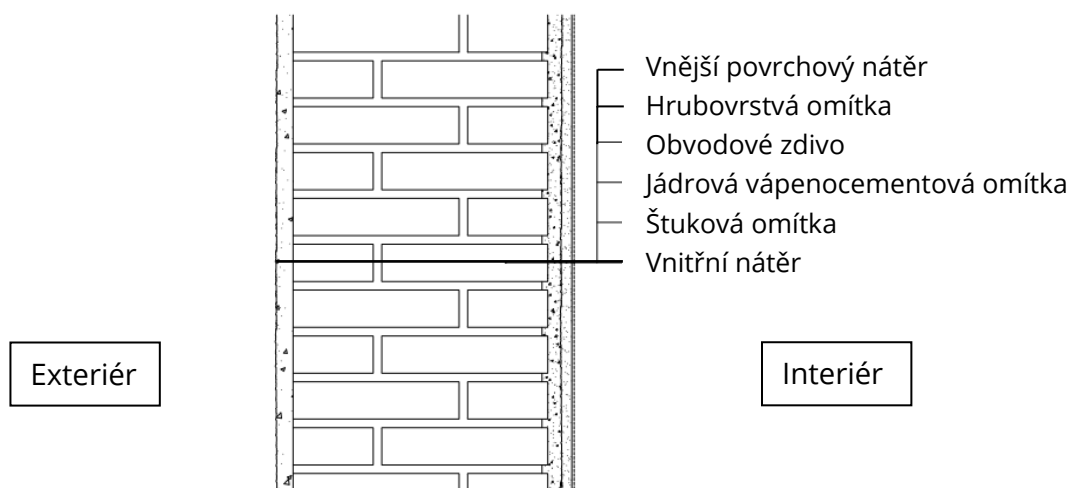
Kromě tradičního provedení fasády, ETICS a provětrávaných fasád můžeme ještě na straně exteriéru využít možnosti použití lehkých obvodových plášťů, prefabrikovaných obkladových dílů a různorodou škálu předsazených fasád. Při návrhu vycházíme jak z požadavku investora tak z právních a normativních předpisů. To vše může zahrnovat

například estetické hledisko i dodržení hygienických požadavků na vnitřní prostředí staveb jako například dostatečné proslunění, tepelná pohoda na pracovišti nebo minimální množství výměny vzduchu. Jednotlivé druhy fasád popisují v následující kapitole a poté se budu věnovat především informacím o ETICS a o větraných fasádách.

## 2. Druhy fasád

### 2.1. Tradiční fasáda

Tradiční fasády jsem již zmínil v první kapitole. Jejich princip spočívá v použití hrubovrstvé omítky na hrubou konstrukci obvodové zdi. V dnešní době existuje na trhu spousta výrobků s dostatečnými tepelně technickými vlastnostmi pro splnění požadavků normy na tepelný komfort nebo na součinitel prostupu tepla konstrukcí. V takovém případě není potřeba dodatečně tepelně izolovat a může se konstrukce rovnou omítnout.



Obr. 5 – detail omítnuté obvodové zdi (podklad z CAD-DETAIL.cz)

Výhodou je především ekonomické hledisko. Omítání nezahrnuje žádné složité technologické procesy nebo komplikované konstrukční řešení a materiály jsou taky dostupné. Předností je samozřejmě i jednoduchost opravy poškozeného povrchu fasády nebo variabilita v použití dalších povrchových úprav. Na tuto fasádu mohou být použity různé další nátěry a malby nebo vytvořit takzvané strukturované omítky.

Nevýhodou je, že ne vždy lze zajistit dostatečnou ochranu obvodové konstrukce před vnějšími negativními vlivy. Tepelně technické vlastnosti omítek nelze klasifikovat jako dostatečně izolační. Již zmiňované tepelně izolační omítky v malé míře zlepšují vlastnosti celé konstrukce jako celku, ale nelze je použít pro samotnou izolaci. Co se týče odolnosti proti srážkové vodě – při nedokonalé realizaci omítky nebo vzniku malých trhlin v ní přestává omítka chránit zdivo proti vodě, která se takhle může dostat dovnitř konstrukce. Tuto nevýhodu můžeme dostatečně eliminovat použitím vícevrstvé nebo silikonové

omítky. Omítka také musí čelit mikroorganismům, hluku a UV záření. Najít vhodnou kombinaci materiálů pro vytvoření co nejdokonalejší omítky je složité a tohle téma je stále předmětem výzkumu a vývoje. K optimální univerzálnosti se snaží dostat takzvané siloxanové omítky.



*Obr. 6 – typy nabízených struktur povrchu výrobce Weber Saint-Gobain [7]*

Podle materiálů můžeme omítky dělit na:

- minerální – nejstarší používané vápenné a vápenocementové
- akrylátové – dnes základní druh omítky, pojivem je umělá pryskyřice a je vcelku odolná a pevná, odpuzuje vodu, ale lehce se ušpiní a je difuzně uzavřená – málo propouští vodní páry, je velmi nevhodná například pro ETICS s použitím minerální vaty
- silikátové – se zásaditým vodním sklem jako pojivem je tato omítka velmi odolná proti plísním a jiným mikroorganismům a jsou paropropustné, mají však vysokou nasákavost a nejsou dostatečně pružné
- silikonové – šlechtěný druh dobře odpuzující vodu, tyto omítky mají dlouhou životnost, dobrou odolnost proti UV záření, avšak jsou nejdražší a mají slabou odolnost proti mikroorganismům
- siloxanové – kombinace akrylátové s nízkým přídatkem silikonu a všech jejich výhod
- silikon-silikátové – hlavním pojivem je silikát s přídatkem silikonu
- hliněné (kapitola 1)

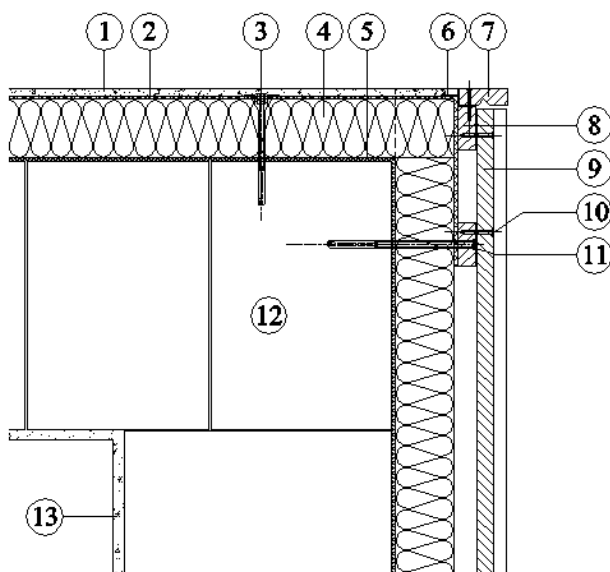
## 2.2. Prefabrikované/obkládané fasády

Prvním druhem obkládané fasády, který bych chtěl zmínit, jsou dřevěné fasády. Jejich konstrukce spočívá v obložení obvodové konstrukce dřevěnými prvky, které se ale musí ošetřovat a to způsobuje nemalé náklady na údržbu. Odměnou za to je velmi estetický vzhled a dobré izolační vlastnosti. Pokud nejsou obkladové prvky ošetřované, měly by mít aspoň ochranu dostatečně dlouhým přesahem střechy. Materiál postupem času má tendenci degradovat a ztrácet tak své estetické a někdy i fyzikální vlastnosti. Tuto degradaci lze významně oddálit pravidelnou a kvalitní údržbou doporučenou dodavatelem materiálu.



Obr. 7 – použití horizontálního dřevěného obkladu na budově – zdroj: Pexels.com

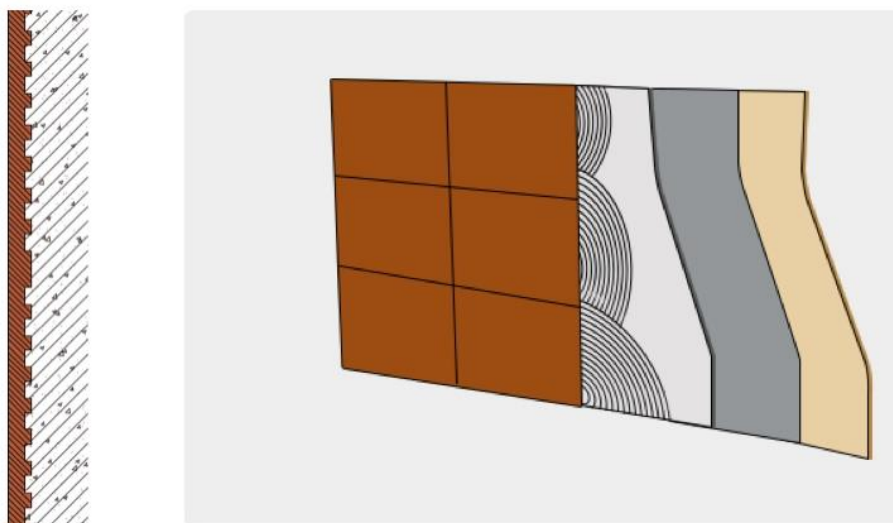
Konstrukční řešení spočívá v instalování obkladových prvků na síť z latí, které jsou pevně spojeny s budovou. Montáž vnějšího obkladu na latě se zajistí šroubováním jednotlivých prvků nebo plošných celků spojených na pero a drážku.



Obr. 8 – řez rohem budovy s dřevěným obkladem na jedné straně fasády [8]

1	Venkovní tenkovrstvá omítka
2	Armovací vrstva se síťovinou
3	Talířová hmoždinka
4	Tepelná izolace
5	Lepící tmel
6	Rohová lišta se síťovinou
7	Alwood krajová lišta
8	Alwood UK - profil ST
9	Alwood dřevěný profil ST
10	Alwood šroub
11	Hmoždinka alsifix AM 10 mm
12	Zdivo
13	Vnitřní omítka

Dalším obkladovým materiálem je keramika. Jednotlivé prvky keramického obkladu lze jednoduše lepit maltou na nosnou obvodovou konstrukci, případně po zajištění penetrace a sanace na stávající fasádu, pokud je to možné. Prvky rozdělujeme na velkoplošné a na cihlové pásy (lícové zdivo). Předností je především atraktivní vzhled a výborná odolnost proti mechanickému poškození a povětrnostním vlivům. Jakkoliv významné tepelně technické zlepšení s jejich použitím ale nezískáme, tudíž z hlediska energetického využití nemají velký význam.

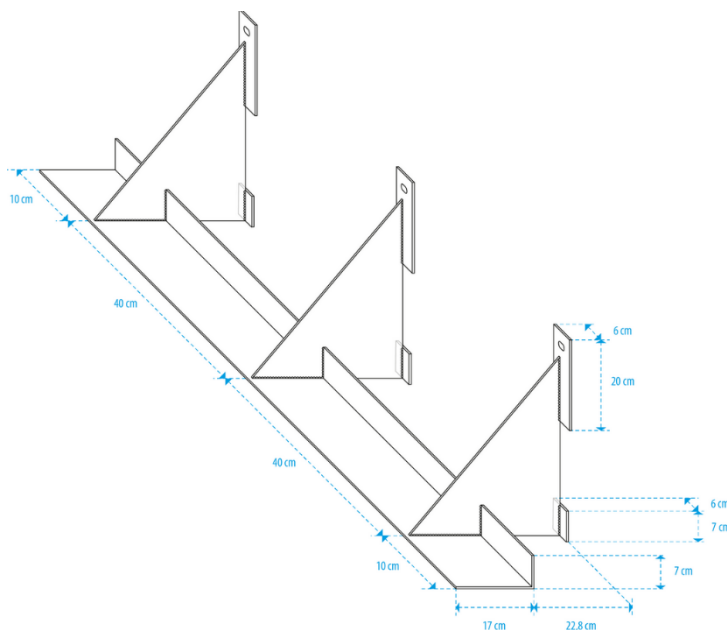


Obr. 9 – konstrukční řešení vnějšího keramického obkladu fasády [9]



Obr. 10 – keramická fasáda (vpravo lze vidět slunolamy z keramických prvků) [10]

Kamenné fasády jsou velmi zajímavým druhem vnějšího obložení. Působí velmi lákavým vzhledem a jsou vysoce odolné proti mechanickému poškození a klimatickým vlivům. Nevýhodou je cena pořízení, pracnost a nutnost zajistit vlastní nosný systém vzhledem k relativně vysoké hmotnosti kamenných prvků. Tento nosný systém se zajistí především rozšířeným betonovým základem nebo závěsnou konstrukcí uchycenou do přilehlé obvodové stěny. Tímto se pro obklad vytvoří závěsná konzola a může se kamenná fasáda začít realizovat.



Obr. 11 – konzole pro zavěšení kamenného obkladu fasády s mezerou pro tepelnou izolaci [11]



Obr. 12 – příklad realizace kamenné fasády [12]

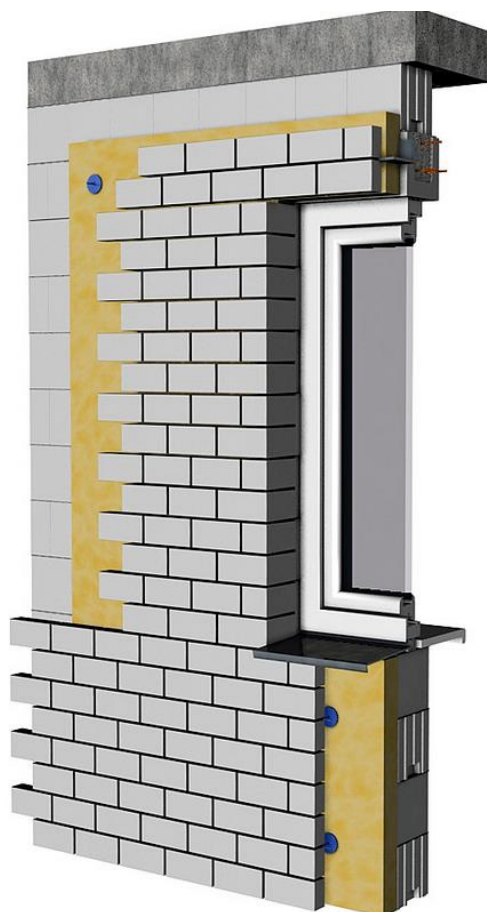
## 2.3. Sendvičové zdivo

Sendvičové neboli vícevrstvé zdivo se začalo používat jako alternativa pro subjektivně nedostačující vlastnosti homogenních zdí nebo ETICS. Často jsou však sendvičové zdi jedinou optimální volbou z hlediska zajištění normativních nebo legislativních podmínek na tepelnou i zvukovou izolaci a dosažení hygienických podmínek při užívání stavby. Spojením kontaktního zateplení na vnitřní část nosné obvodové konstrukce se dosáhne výhod použití ETICS, ale na vnější stranu zdi, ze strany tepelné izolace, přidáváme další vrstvu buď ze stejného nebo úplně jiného materiálu jako je vnitřní vrstva obvodové zdi. Dosáhneme tak lepších tepelně i zvukově izolačních vlastností zdiva a ke všemu máme daleko víc možností volby úpravy povrchu fasády. Větší počet nehomogenních vrstev zdi zajistí přívětivější chování při prostupu tepla konstrukcí. Při použití integrované tepelně izolační vložky mezi vrstvami lze dosáhnout ještě lepších výsledků. Nevýhodou je však v první řadě komplikovanější návrh a realizace, vysoká objemová hmotnost zdiva a případné technologické pauzy při použití konstrukcí s různou technologií provádění.



*Obr. 13 – příklad realizace sendvičového zdiva [13]*

Na trhu existuje velká spousta výrobců, kteří se začali věnovat vývoji vlastních systémů sendvičových zdí, aby dosáhli co nejlepších a nejefektivnějších výsledků po realizaci svých staveb. Využíváním jednotných modulů a systémů od určitých výrobců se zmenšuje náročnost návrhu. Často využívaným materiálem pro nosné konstrukce u sendvičového zdiva je vápenopísková cihla. Ta má dostatečné statické i tepelně technické vlastnosti i při nižších tloušťkách zdiva. To je klíčové pro systémy sendvičového zdiva, protože u jiných materiálů by to mohlo znamenat velké prostorové nároky a velké tloušťky obvodových zdí, což by nás prakticky vrátilo do doby výstavby hradů.



Obr. 14 – 3D vizualizace řezu sendvičového zdiva systému KMB Sendwix [14]

Většinou se u sendvičového zdiva nachází malá větraná mezera mezi tepelnou izolací a vnější vrstvou zdiva. Malý proud vzduchu zajistí dostatečný odvod vlhkosti přítomné nebo vznikající uvnitř konstrukce. Takto se chrání nejenom materiál nosné konstrukce ale především tepelná izolace.

## 2.4. Zelené fasády

Zelené nebo živé či vegetační fasády si našly oblibu pro svůj vzhled a přirozenost. Použití tohoto druhu fasády, které je zatím spíše tématem botaniky než techniky, je některými lidmi odsuzováno a některými chváleno. Odborná veřejnost se v této věci zatím nedokáže jednohlasně shodnout. Vývoj modifikace, variability a možnosti alterovat vlastnosti zelených fasád pro užitek člověka je stále předmětem studií, které započaly v 80. letech minulého století v Německu.[15]

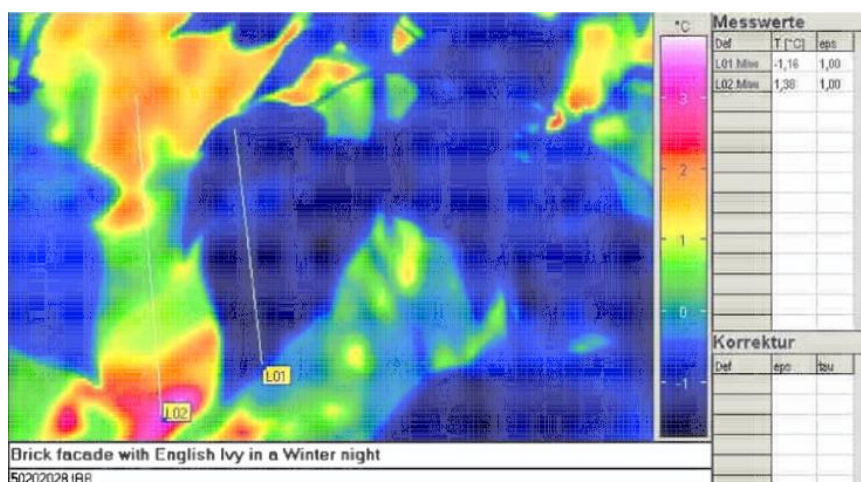


Obr. 15 – štítová fasáda obrostlá břečtanem – zdroj: Pexels.com

Německá studie[15] popisuje několik vlastností, které zelené fasády mají za určitých podmínek (podrobně ve studii).

Některé z kladných vlastností jsou:

- snížení obsahu částic prachu a těžkých kovů ve vzduchu (až 4 % spadených prachových částic za rok),
- produkce jedlého ovoce (ovocné stěny),
- produkce biomasy (význam jen u velkých ploch),
- tepelná izolace (snížení/zvýšení teploty interiéru o 3 °C v létě/zimě, ztráty na severní fasádě o 25 % nižší),
- zvuková izolace (až o 5 dB(A)),
- zachování biodiverzity/pozitivní dopad na životní prostředí (přítomnost fauny),
- nízká cena pořízení (požadavek jen na úrodnou půdu a konstrukci nesoucí rostlinu).



Obr. 16 – infračervený snímek z termokamery mířené na zelenou fasádu v brzkých únorových hodinách [15]

Popínavé rostliny na fasádách poskytují částečnou ochranu před deštěm a povětrnostními vlivy. Vzduchové kapsy pod listy vykazují minimální pohyb vzduchu a tak dokáží částečně tepelně izolovat a zároveň dávají zdivu možnost dýchat.

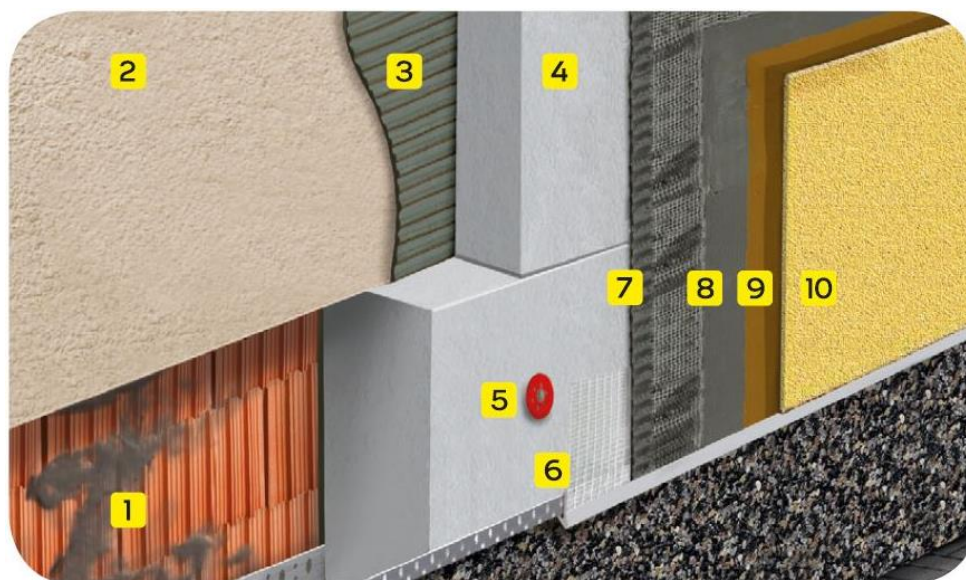
Zelená fasáda samozřejmě nemá pouze výhody. Nedoporučuje se zřizovat tam, kde je stávající fasáda respektive omítka v havarijním či nedokonalém stavu. Popínavé rostliny mají svoji vlastní hmotnost a potřebují být k něčemu přichycené. Pokud není přistavěna samostatná stabilní konstrukce podél stěny umožňující rostlině růst, bude se tato rostlina přichytávat právě ke zdi a zatěžovat její povrch. Přísavníky mohou přes trhliny vrůst pod omítku a následně ji ještě více poškodit. Je potřeba se také rozhodnout, jestli stavebník požaduje opadavé či neopadavé rostliny. Mezi opadavé patří například u nás nejčastější přísavník pětícípý a nejznámější neopadavou rostlinou je břečťan. Někomu dále může vadit výrazně vyšší přítomnost hmyzu a více ptactva v okolí větrané fasády. Dále je potřeba u zelené fasády regulovat její růst, jinak se může rostlina rozrůst a dostat se na místa, kde by mohla způsobit nemalé škody (střecha, střešní žlab, sousední konstrukce...). Poslední nevýhodou, kterou bych zmínil, je složitější zneškodnění této fasády.



Obr. 17 – zelená fasáda na vícepodlažním objektu – zdroj: Pexels.com

## 2.5. Vnější kontaktní zateplení (ETICS) obecně

Základním principem tohoto systému je instalace materiálů s výrazně nižší tepelnou vodivostí (izolantů) na vnější povrch obvodové zdi a obklopit tak tuto konstrukci na všech částech, kde by byla v kontaktu s exteriérem. Zpravidla se používají desky z polystyrenu různých druhů nebo minerální vaty. Spojení s konstrukcí je zajištěno lepením nebo kotvením mechanickými kotvami.



Obr. 18 – 3D vizualizace prvků systému ETICS [16]

1. podklad (zdivo, panel)
2. starý zateplovací systém
3. lepicí hmota
4. nový zateplovací systém
5. hmoždinka
6. nová soklová lišta se soklovým nástavcem s okapnicí
7. stěrková hmota
8. skleněná síťovina
9. podkladní nátěr
10. omítka

Podrobněji se systému ETICS věnuji v kapitole 3.

## 2.6. Lehké obvodové pláště (LOP)

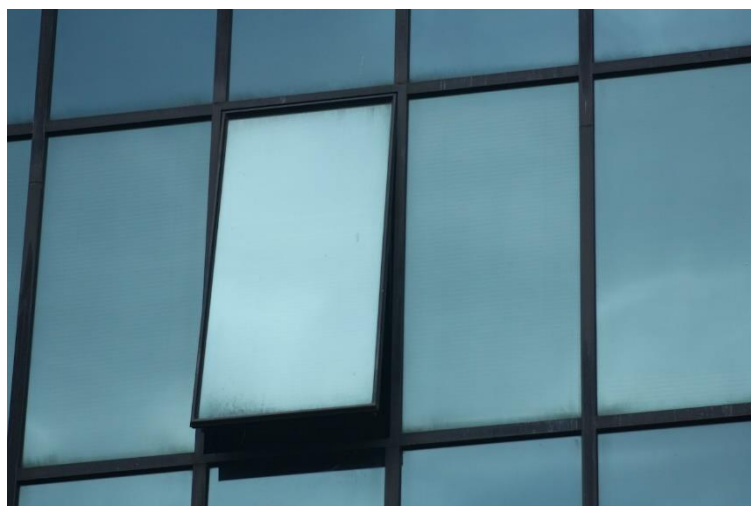
Jedná se o sestavení dílčích nenosných prvků v jeden fasádní celek, které nese co nejjednodušší nosná konstrukce. Přesněji tyto výrobky definuje norma ČSN EN 13830. Většinou se jedná o velkou atypickou konstrukci ze skleněných panelů, které se

v návaznosti na odzkoušené technologie a postupy montují na nosné kovové konstrukce. Nejčastějším prvkem nosných konstrukcí je hliník, ale používá se i vylepšená ocel nebo občasné systémy na bázi PVC-U profilů, které však nemají vysokou únosnost.



Obr. 19 – vzdálený pohled na výškové budovy s LOP, zdroj: Pexels.com

Konstrukční systém lze rozdělit na systémy „sloupkopříčkové“, modulové a terčové. „Sloupkopříčkové“ systémy sestávají z rastru, který se osazuje výplní z jednotlivých dílců. Možnost variability je zde vysoká, ale systém je velmi pracný a náročný a vyžaduje maximálně svědomitý a profesionální přístup realizátorů. Většina práce se realizuje přímo na stavbě a spolu s tím roste riziko poškození fasády či jejích částí.



Obr. 20 – některé díly lze realizovat jako otevíravé, zdroj: Pexels.com

Modulový systém je nastaven více prefabrikovaně. Jednotlivé díly se skládají do větších bloků, které se pak dopraví jeřábem na místo určení a až tam se následně montují. Většina montáže se děje přímo ve výrobě u dodavatele. Systém je celkově rychlejší a jednodušší, avšak finančně nákladnější, i když na samotné stavbě je potřeba podstatně méně lidí a práce je z hlediska škod více bezpečná.

Terčový systém spočívá v uchycení jednotlivých dílů bodově a to buď otvory ve skle nebo nosiči skel na okrajích jednotlivých tabulí. Fasády s tímto systémem se nepoužívají jako hlavní plášť, které izolují budovu, protože je zde komplikace napojení stropní desky a utěsnit připojovací spáru.



Obr. 21 – bodové uchycení dílu [17]

Co se týče fyzikálních vlastností – LOP je z tepelně technického hlediska definovaný z větší části součinitelem prostupu tepla použitého okna v jednom dílci. Proto se klade při návrhu důraz na použití kvalitních oken s dobrými izolačními vlastnostmi. Pro zamezení tepelných mostů se dá tepelně izolovat neprůhledná část rámu, avšak instalace je komplikovaná. Zvuková izolace závisí na hustotě a frekvenci použitých materiálů a na tlumícím uložení kotvicích prvků.

Protipožární řešení u LOP není jednoduché ale ani nemožné. Rastr se dá dodat v protipožárním provedení a jednotlivé detaily lze za cenu nižší efektivity LOP provést v průběhu realizace. Nejjednodušším protipožárním opatřením je instalace samočinné aktivní protipožární ochrany.

Fasáda musí odolávat i účinkům zatížení. Je nutno počítat se zatížením od větru, s užitečným zatížením (např. lávky, zábradlí...), s vlastní tíhou konstrukce a účinky dotvarování budovy i fasády. Případně se posuzují nárazy nebo zatížení sněhem.

Téma lehkých obvodových plášťů je velmi obsáhlé. Zahrnuje spoustu druhů a systémů a je hodno samostatné závěrečné práce.

## 2.7. Větrané fasády obecně

Provětrávané fasády byly stručně popsány v bodě 1.3. na konci jako jedna z možných variant realizace fasády v současnosti. Princip spočívá v zateplení nosného obvodového zdiva jako u vnějšího kontaktního zateplení. Rozdíl oproti ETICS je v tom, že na tepelnou izolaci pokládáme pouze difuzně otevřenou fólii a za ní se nachází větraná vzduchová mezera. Až za mezerou se nachází poslední vrstva fasády a to vnější obklad. Ten ve vzduchu nelevituje, takové technologie zatím nemáme. Obklad je předsazený na kotvách, přesněji stěnových úhelnících. To samozřejmě způsobuje malý efekt tepelného mostu na konstrukci obvodové zdi. Správným konstrukčním řešením se ale snažíme co nejvíce minimalizovat dopad tohoto technického neduhu. Detailněji o větraných fasádách píšou v kapitole 5.



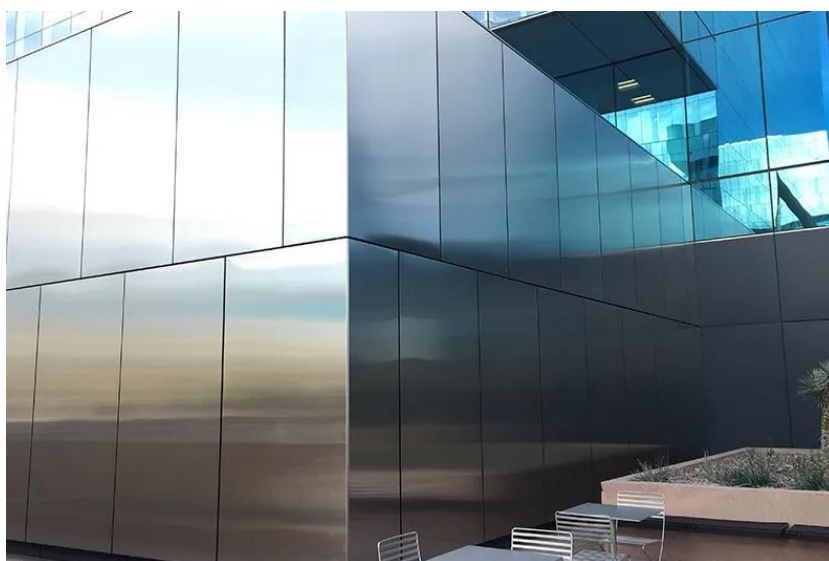
*Obr. 22 – realizovaná větraná fasáda na budově JIC v Brně,  
zdroj: fotodokumentace výzkumného týmu*

## 2.8. Speciální fasády

Následující fasády nejsou v našich končinách úplným zvykem, ale v zahraničí je někde můžeme potkat na budovách. Jejich použití je buď ve vývoji nebo byly použity pro velmi specifické účely.

## Fasády z nerezové oceli

Tento druh fasády se zpravidla dělá stejným způsobem jako jiné předsazené fasády. Od doby vynálezu nerezové oceli v roce 1912 měli architekti neustále myšlenky jak a kde by se dal tento dobře zpracovatelný a staticky přívětivý materiál využít. Jednou z možností bylo použití oceli na fasádní respektive obkladové systémy. Nerezová ocel, ač ne nerezová navždy, dokáže dlouho odolávat klimatickým vlivům a mechanickému poškození a dlouho si také zachovává velmi atraktivní vzhled. Tento systém byl v průběhu 20. století používán na mnoha známých výškových budovách, jako je například Chrysler Building v New Yorku nebo Petronas Towers v Kuala Lumpur.[18]



Obr. 23 – obkladové panely z nerezové oceli [19]

V průběhu let ocel získala pozornost vědců a inženýrů po celém světě a proto se do dnešního dne přišlo na mnoho způsobů, jak ocel vylepšovat či jinak alterovat její vlastnosti. Dostává se nám velká škála produktů, které lze tedy využít.

Nevýhody ocelové fasády však spočívají ve velké hmotnosti prvků a tím pádem vysokých nároků na statickou únosnost nosných prvků. Další komplikací je vysoká teplotní prostorová roztažnost oceli. Celkově je realizace ocelové fasády velmi nákladná.

## Prefabrikované fasády integrovaných systémů

Jak už název napovídá, jde o fasády systémů jednotlivých výrobců podle vlastního modulu. Většinou se jedná o sendvičové panely zahrnující tepelnou izolaci a vnější vrstvu podle nabídky výrobce či přání zákazníka daného integrovaného systému. Výhodou bude bezpochyby rychlost provedení a záruka poskytnutá výrobcem.

## Dvojitá fasáda

Princip dvojité fasády vychází ze zdvojeného lehkého obvodového pláště. Mezi těmito dvěma vrstvami LOP se nachází větraná mezera, která zajišťuje pohyb vzduchu a lepší a variabilnější možnosti regulace energetických potřeb například instalováním dalších slunečních clon či jiných prvků. Je zde možnost podstatně jednodušší údržby oken, lepší systém větrání vnitřních prostor, a jednodušší řešení izolování vnitřní části budovy od exteriéru – menší tepelné mosty při eliminaci přímého kontaktu první vrstvy pláště s exteriérem. Tento druh LOP je však dražší a vyžaduje větší prostorové i statické nároky.



Obr. 24 – bližší pohled na dvojitou fasádu zespodu [20]

## Složený hliníkový panel (ACP)

ACP (aluminium composite panel) je druh fasádního obkladu, který prošel ve svém vývoji doslova křtem ohněm. Skládal se ze 100 % polyetylenové izolační výplně o tloušťce 5 mm obalené z obou stran 0,5 mm tlustými hliníkovými deskami. Tento druh obkladu byl použitý na budově Grenfell Tower, která v roce 2017 vyhořela. ACP byl jasným viníkem rychlého rozšíření požáru do vyšších pater, nebyl však příčinou vzniku požáru. Při tomto tragickém incidentu zemřelo 72 lidí.[21]



Obr. 25 – Grenfell Tower při požáru [21]

Od té doby si prošel ACP vývojem, který zahrnuje požárně odolné výplně či nehořlavé panely. Mezi výhody ACP patří relativně lehká hmotnost, adaptibilita materiálu, vysoká odolnost proti povětrnostním vlivům, variabilita povrchových úprav a nízké náklady na údržbu. Po požáru v Londýně se jejich použití výrazně omezilo.



Obr. 26 – ACP použité na The Torch Tower – Dubai  
(budova s děsivě příhodným názvem také vyhořela) [22]

### Protisluneční fasáda

Forma realizace protisluneční fasády závisí na použitém systému. To se odvíjí od přání a možností investora. Zpravidla se může jednat o LOP s instalací slunečních clon po celé ploše fasády. Jsou už ale i technologie, které si pohrávají s různými materiály a dopadajícími slunečními paprsky.



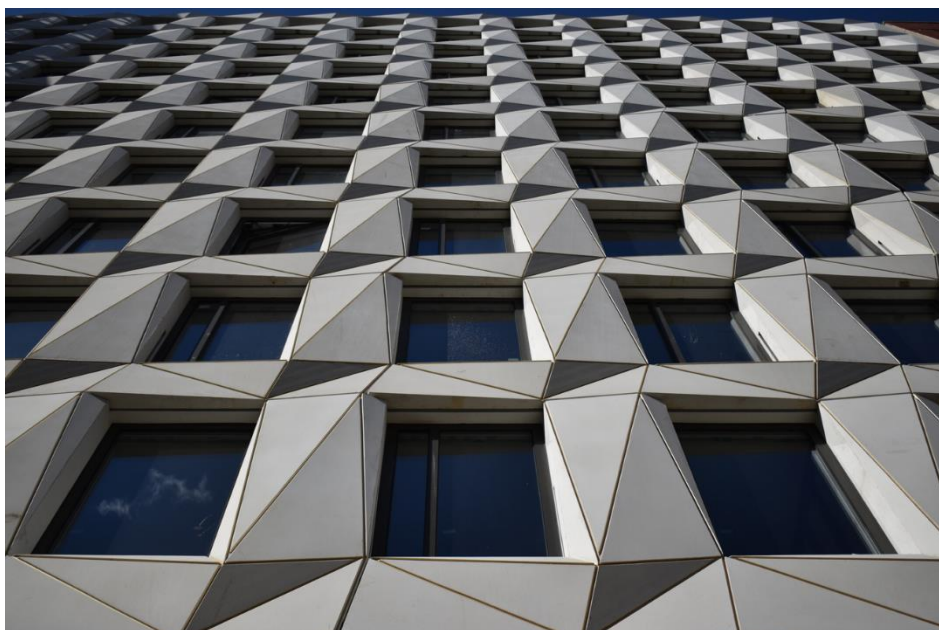
Obr. 27 – slunolamy na prosklené fasádě, zdroj: Pexels.com

Některé firmy dělají atypicky tvarované skleněné fasády za účelem rozdělení dopadajících slunečních paprsků do různých směrů. Takové návrhy jsou podle mě velmi estetické, zajímavé a určitě nákladné. Jedna britská firma dokonce tvrdí, že vyrábí „mikrožaluzie“, které dokáží pohltit až 100 % vnikajícího tepla a slunečního záření do interiéru.[23]

### **Betonové fasády**

Využívají beton jako povrchový materiál, někdy i jako konstrukční. Záleží na druhu provedení. Betonové fasády mohou být dělané jako obkladové díly větraných fasád a to díly lehké nebo těžké. Další poměrně pracnou variantou jsou monolitické stěny prováděné přímo na stavbě různých druhů. Tato fasáda má přiznaný beton jako nosnou i pohledovou vrstvu zároveň. Konstrukce se však musí ještě zvlášť tepelně izolovat. Speciální varianta monolitického betonu je ultralehký (Liapor) beton. Kládou vlastností materiálu je dobrá izolace tepelné energie. Hlavní nevýhodou je však jeho menší únosnost, proto stěny u různých budov z tohoto systému mají tloušťku minimálně 600 mm. Pohledová vrstva vnějšího líce stěny nepotřebuje žádné další úpravy.

Významnou výhodou železobetonových fasád je možnost vytvořit prakticky jakýkoliv tvar nás napadne a který nám současné technologie dovolí. Velmi oblíbené u architektů.



*Obr. 28 – průčelí montované železobetonové fasády [24]*

Posledním druhem jsou prefabrikované betonové díly skládané na stavbě. Výhodou je rychlost výstavby a možnost realizovat atypické povrchy jako například na obr. 28. Celkově jsou železobetonové fasády těžké a vyžadují dostatečně únosný systém, což sebou spolu s prefabrikací přináší nemalé náklady. Odměnou za to je estetický vzhled a všechny pozitivní vlastnosti tak hojně používaného stavebního materiálu.



Obr. 29 – bednění a armování pro fasádní panel ve výrobě [24]

### **Samočisticí fasády**

Nejedná se o žádný zázračný materiál nebo nadpozemskou technologii. Pro samočisticí fasády se používá speciální nátěr využívající fotokatalýzu s nanokrystalickým oxidem titaničitým ( $\text{TiO}_2$ ).  $\text{TiO}_2$  jako fotokatalyzátor spolu s UV-A zářením aktivuje chemickou reakci, která rozkládá všechny přítomné substance. Jednoduše řečeno – při působení slunečního záření na povrch ošetřený tímto nanonátěrem se začnou nečistoty na tomto povrchu rozpouštět. Tím se fasáda jakoby sama čistí a udržuje původní vzhled a barvu.

### **Fotovoltaické fasády**

I přes spoustu neoborných a pár profesionálních odpůrců fotovoltaického systému má tento druh fasády čím dál tím větší smysl s příchodem nových technologií. Fotovoltaické články se neustále posouvají kupředu a jejich integrování do lehkých obvodových plášťů bylo předmětem investování několika firem již před deseti lety. Vždy záleží na požadavku investora a nabídce trhu. Některé FV fasády mají viditelně osazené články a pro někoho tento vzhled může být odpudivý. Dělají se ale zvláštní integrace do skel a nebo různé povrchové úpravy, kde vlastně ani není poznat, že je na fasádě nainstalovaná fotovoltaika.

Dle použití materiálu rozeznáváme technologie krystalické a amorfní. Krystalické moduly mají typický modrý rastrový vzhled. Jejich největší efektivita je při orientaci plochy na jih a se sklonem plochy k vodorovné rovině v úhlu  $30^\circ$ . Při vertikálním použití vykazuje tento systém určité ztráty.

Proto přišli výrobci s amorfními moduly. Ty jsou právě při pohledu na fasádu skoro nepoznatelné a jsou přizpůsobené pro absorpci sluneční energie i ve svislé poloze a to jak

pro přímé sluneční záření, tak pro to difuzní. Rozhodně je tohle podle mého názoru nadčasová oblast vývoje, výzkumu a používání.



Obr. 30 – fotovoltaická fasáda s použitím amorfních modulů [25]

### **Plastové fasády**

Plastové fasády jsou u nás nejčastěji známé jako technologie obložení obvodové zdi panely vyrobenými z PVC. Jedná se o vcelku levnou variantu opláštění a velmi bohatou škálu obkladů lze najít prakticky v každých stavebninách. Jedná se také ale o materiál s nižší životností a odolností než jsou ostatní nabízené fasádní prvky.



Obr. 31 – plastový obklad imitující dřevo s bílým nátěrem [26]

V zahraničí lze plast ve spojení s fasádami poznat jako kreativní odpadní materiál, který lze využít pro tvorbu architektonicky jedinečných prvků.

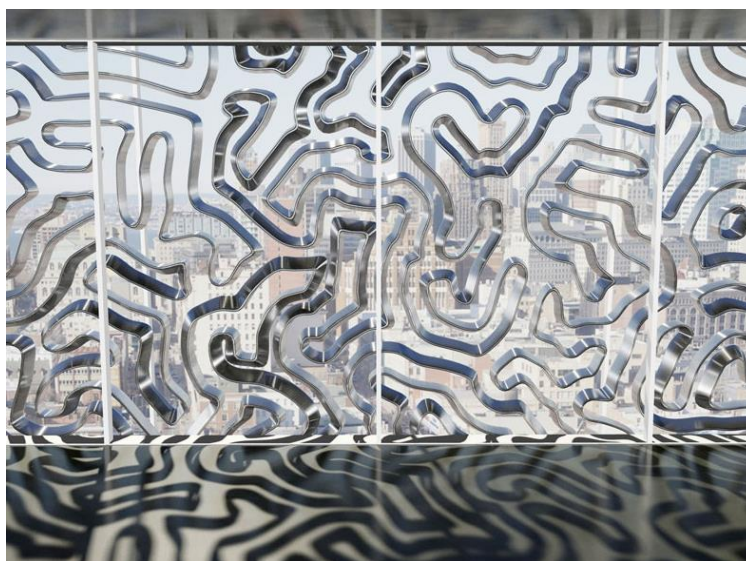


Obr. 32 – plastový obklad z recyklovaných materiálů použitý na fasádě budovy v nizozemském Eindhoven [27]

### Homeostatické fasády

Homeostatická fasáda spatřila světlo světa v roce 2011 jako prototyp a mechaniku fungování popsala Martina Decker ve své publikaci [28] v roce 2013. Od té doby se o tomto druhu fasád moc nemluví a nelze s jistotou říct v jaké fázi je vývoj a realizace dnes.

System pracuje s vícevrstevným dynamicky se chovajícím materiálem, který při vnesení malého elektrického napětí dokáže efektivně reagovat na změnu teploty při působení sluneční radiace. Při zvýšení teploty se tento kompozitní materiál chová jako lidský sval a stahuje se, čímž zmenší plochu fasády pro vstup světla a dá možnost interiéru vrátit vnitřní teplotu to rovnováhy – homeostatické chování. System je plně autonomní.



Obr. 33 – pohled na homeostatickou fasádu z interiéru, z poloviny uzavřenou [29]

### 3. Vlivy působící na fasádu

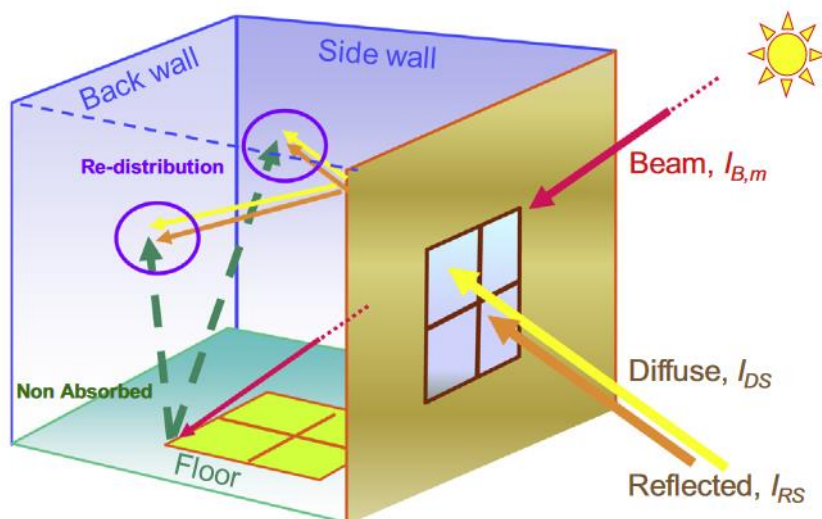
#### 3.1. Sluneční záření

Fasáda se musí potýkat s vlivy velmi proměnlivého jevu jakým je sluneční záření. V průběhu roku nabývá intenzita sluneční radiace různých hodnot a to v závislosti na ročním období, respektive vzdálenosti Země od Slunce, na oblačnosti, znečištění atmosféry a na přítomných stínících prvcích.

Sluneční záření může způsobovat degradaci některých materiálů právě kvůli agresivnímu působení UV záření. Z hlediska energetického se ale řeší sluneční zisky. Ty dostáváme působením sluneční energie v paprscích na povrchy vnějších konstrukcí.

Při působení na neprůhlednou část fasády se tato konstrukce ohřívá a následně sálavým působením předává teplo do chladnějšího interiéru.

Průhlednou konstrukcí, zpravidla oknem, se sluneční zisky řeší při prostupu slunečních paprsků oknem radiací. Sluneční záření podle působení paprsků můžeme rozdělit na přímé, difuzní a odražené. Přímé záření dopadá ze slunce přes atmosféru přímo na okno. Difuzní záření popisuje paprsky procházející přes oblačnost, průhledné konstrukce nebo samotné sklo okenní výplně. Odražené záření, jak název napovídá, působí na okno odražením od povrchu země či jiného objektu v optickém dosahu okna. Můžeme ho také popsat jako záření, které se po působení přímého záření odrazilo od okenní tabule a neprošlo skrz něj ve formě difuzního záření. Největší energii v sobě nesou paprsky přímého slunečního záření. Při jeho působení počítáme zisky interiéru, abychom následně mohli počítat energii nutnou pro návrh a realizaci systému chlazení a nenechali tak přehřívát vnitřní mikroklima.



Obr. 34 – jednotlivé prvky slunečního záření dopadajícího na podlahu přes okenní otvor [30]

S nadbytečným ziskem ze slunečního záření se dá pracovat. Redukovat nebo eliminovat tyto zisky lze použitím slunečních clon, materiálů okenních otvorů pohlcujících nebo odrážejících světelnou energii. Dále se dá použít specifický druh fasády, které jsou jednotlivě popisované v kapitole 2, ve spolupráci s jinými stínícími systémy, aby se dosáhlo co nejlepší tepelné rovnováhy a co nejmenší potřeby primární energie pro vytápění a chlazení budovy.

ETICS nechává všechnu „práci“ na tepelné izolaci. Ta ve spojení s fasádní omítkou musí čelit přehřívání a následné chvilkové akumulaci tepelné energie v momentě, kdy přestane sluneční radiace působit. Zateplení nedokáže úplně zabránit ziskům z obvodových stěn při jejich přehřívání.

U větraných fasád je tento problém důmyslně vyřešený vzduchovou mezerou. Při působení sluneční radiace na obkladový panel se vzduch v mezeře ohřeje a způsobí tak rozdílem tlaků vzduchu proud vzduchu směrem vzhůru. Po výšce se vzduch ještě více od obkladu ohřeje a nabírá tak na rychlosti. Tímto způsobem lze přebytečné teplo odvětrat a nechat tepelnou izolaci udržovat tepelný odpor proti přehřívání ze vzduchu i ze sálové složky obkladové konstrukce. Toto přehřívání izolace působí ale mnohem menším tepelným tokem než u ETICS.

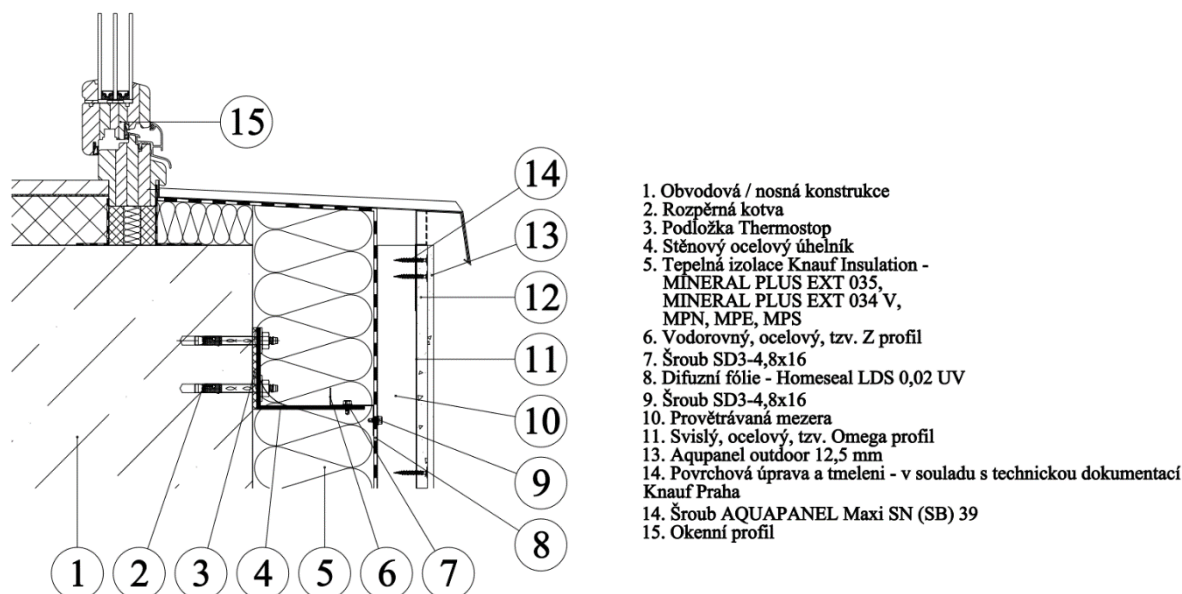
### 3.2. Voda, déšť

Fasáda musí odolávat účinkům dopadajících srážek a efektivně tak chránit vnitřní část obvodové konstrukce i interiér před působením srážkové vody a následné vlhkosti. Je důležité, aby mohla fasáda umožnit difuzně propouštět vlhkost směrem z konstrukce obvodové zdi ven. Nasákavý vnější plášť musí dostat možnost umožnit absorbované vlhkosti vypařit se z konstrukce. Prosklené pláště a pláště náchylné ke znečištění musí mít vyřešený systém čištění fasády. Proti působení většího množství vody (například při záplavách) se přímo nenavrhuje žádná fasáda.

Pláště z obkladových materiálů s otevřenými spárami musí zajistit, aby se při dešti nedostávalo větší množství vody do větrané mezery. Stoprocentní izolaci proti vodě v tomto případě nelze realizovat, ale lze propouštění minimalizovat nejlépe bezspárovým řešením obložení. Vnitřní tepelná izolace musí být izolována difuzně otevřenou fólií.

Fasáda musí být dostatečně dobře provedená, aby se voda nedostávala pod její povrch a nezpůsobila její zničení. Na detaily v místě přerušení kontinuity fasády, jako například v místě otvorů nebo na samotném vrcholu fasády, se musí klást velký důraz, jinak by se srážková voda mohla dostat dovnitř. Vliv na proniknutí srážkové vody do fasády má z velké části působící vítr.

Spodní části fasád se často osazují soklem. Ten mimo jiné chrání fasádu před dopadajícím deštěm na prostor před fasádou a následným odražením kapek a znečištěním fasády.

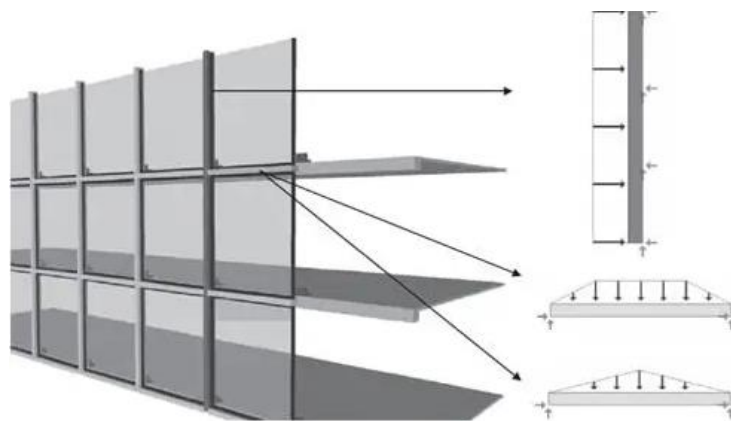


Obr. 35 - detail ukončení větrané fasády u parapetu okenního otvoru [31]

### 3.3. Vítr

Působení větrných sil na fasádu představuje pro inženýry výzvu v podobě optimálního návrhu nosné konstrukce a dílů fasády vzhledem k zatížení, které působí boční síly větru. Tyto působící síly je potřeba bezpečně a efektivně přenést do nosného systému budovy. Většinou toto rozložení sil probíhá po podlažích. Návrh hodnot vychází z lokality podle větrné oblasti (větrné oblasti u nás podle ČSN EN 1991-1-4) a podle výšky, rozměrů a tvaru fasády.

Další vliv, který vítr má, je ovlivnění tepelně technických parametrů obálky budovy. Jedním takovým parametrem, na který by to mělo vliv, by byl součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce. Tato hodnota popisující působení tepelného toku v mezní vrstvě by se měnila spolu s rychlostí pohybu vzduchu bezprostředně přiléhajícího k mezní vrstvě a fasádě. Budovy s velmi prodyšnými konstrukcemi nebo spárami v oblasti výplně otvorů mají dokonce citlivou změnu vnitřního mikroklimatu v závislosti na síle větru působícího v exteriéru.



Obr. 36 - statické schéma zatížení LOP od větru [32]

Někdy se působení větru využívá ve speciálnějších systémech lehkých obvodových plášťů pro větrání vnitřních částí budovy.

### 3.4. Hluk

Fasádu je potřeba navrhnout i v souladu s hygienickými předpisy na tlumení nežádoucího hluku z vnějšího prostředí. Nejlepším řešením z akustického hlediska pro omezení vzduchové neprůzvučnosti je použití materiálů o vysoké objemové hmotnosti, případně zdvojení konstrukce fasády. Pro omezení šíření hluku a vibrací skrze konstrukce existuje spousta konstrukčních detailů a řešení. Většinou se jedná o dělení v oblasti rámu a spojovacích uzlů přiléhajících konstrukcí nebo spojení nosných prvků předsazených konstrukcí, které se řeší pružným uložením.

### 3.5. Mikroorganismy

Ve vnějším vzduchu se nachází spousta mikroorganismů, které se mohou dostat na povrch fasády a způsobit její degradaci v čase. Především se jedná o plísně. V naprosté většině případů jsou tyto účinky nežádoucí a snažíme se jich zbavit použitím adekvátních materiálů či nátěrů. V zahraničí se ale lze setkat se speciálním druhem zelené fasády, která na svém povrchu místo popínavých nebo stromovitých rostlin nechává účelně a řízeně růst mechovou vrstvou.

### 3.6. Lidé a zvířata

Působení člověka a zvířete je taky nutno zmínit. S trochou lidské nešikovnosti případně havárie se může povrch fasády zničit. Většinou ne celá ale jenom její část. Zvěř je na rozdíl od člověka dostatečně inteligentní na to, aby neničila již postavené fasády. Ale byly bohužel i nehody, při kterých nešťastně proskočil sudokopytník výlohou. Náklady na opravy se z hlediska fasády odvíjí od komplexnosti systému a dostupnosti materiálu.

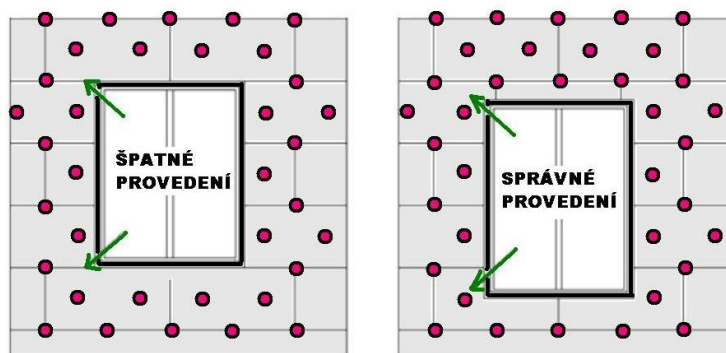
Pro určité případy se budovy v nejnižším místě opatřují soklem. Ten vykazuje vyšší odolnost proti mechanickému ale i chemickému poškození ale i viditelnému znečištění. Ať už je to působení deště, lidská nešikovnost či močící pes, sokl dokáže efektivně ochránit především tradiční fasády.

Do provětrávaných fasád se mohou dostat škůdci jako hlodavci nebo hmyz. Proti tomu inženýři bojují zabudováním protihmyzových mřížek v místě vstupu vzduchu do mezery, případně mříže proti ptactvu v místě výstupu vzduchu z mezery.

## 4. ETICS

„External thermal insulation composite system“ neboli vnější kontaktní zateplovací systém po našem je jak jsem již popsal systém izolování stavby z její vnější části. Dělá se buď dodatečně nebo v rámci novostaveb. Je to nejpoužívanější druh zateplení u nás vzhledem k ceně realizace a jednoduchosti provedení. Spousta i neprofesionálních lidí se pouští do realizace svépomocí. Ne vždy to ale dopadá zdárně. I tento jednoduchý systém má svá omezení, pravidla a správné postupy. Za provedení tepelné izolace objektu zodpovídá její zhotovitel.

ČSN 73 2901 je norma obsahující informace pro provádění ETICS. Vychází ze zákona 22/1997 Sb. – Zákon o technických požadavcích na výrobky. Najdeme v ní správné postupy při realizaci nebo skladování materiálu.



Obr. 37 – schéma uchycení kotvami a správné montáže v oblasti okenního otvoru [33]

Podle materiálu izolantu dělíme na použití s polystyrenovými deskami nebo instalaci desek či lamel z minerální vlny. Jednotlivé prvky se podle zásad lepí na připravenou podkladní vrstvu – obvodovou zeď a následně se po umístění kotví plastovými hmoždinkami. Na izolant se nanese základní vrstva do které se vkládá vyztužovací tkanivo s prvky posilujícími mechanickou odolnost jako jsou nárožní, parapetní či dilatační lišty. Po zaschnutí a rovinné úpravě základní vrstvy můžeme nanášet finální tenkovrstvou omítku, která nám bude tvořit vnější plášť fasády. Výhodou tohoto systému je následně variabilní použití povrchových úprav a barev omítky.

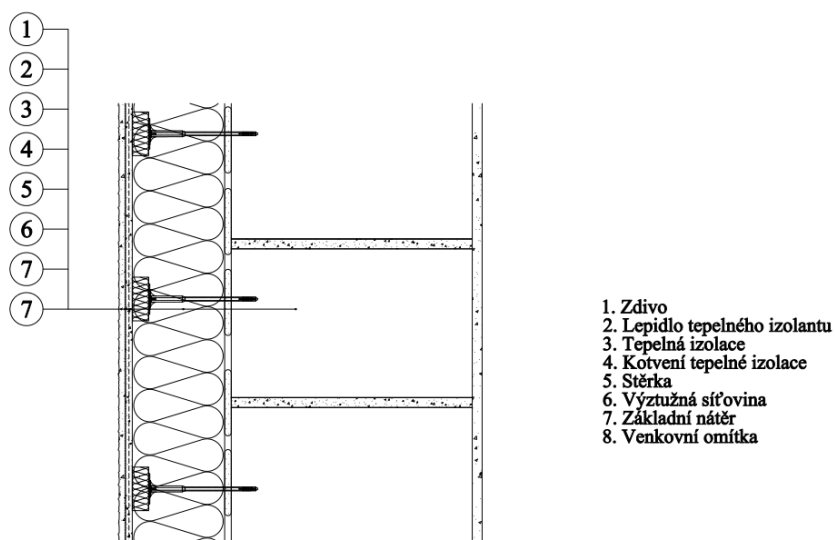


Obr. 38 – lepení desek z minerální vaty [34]

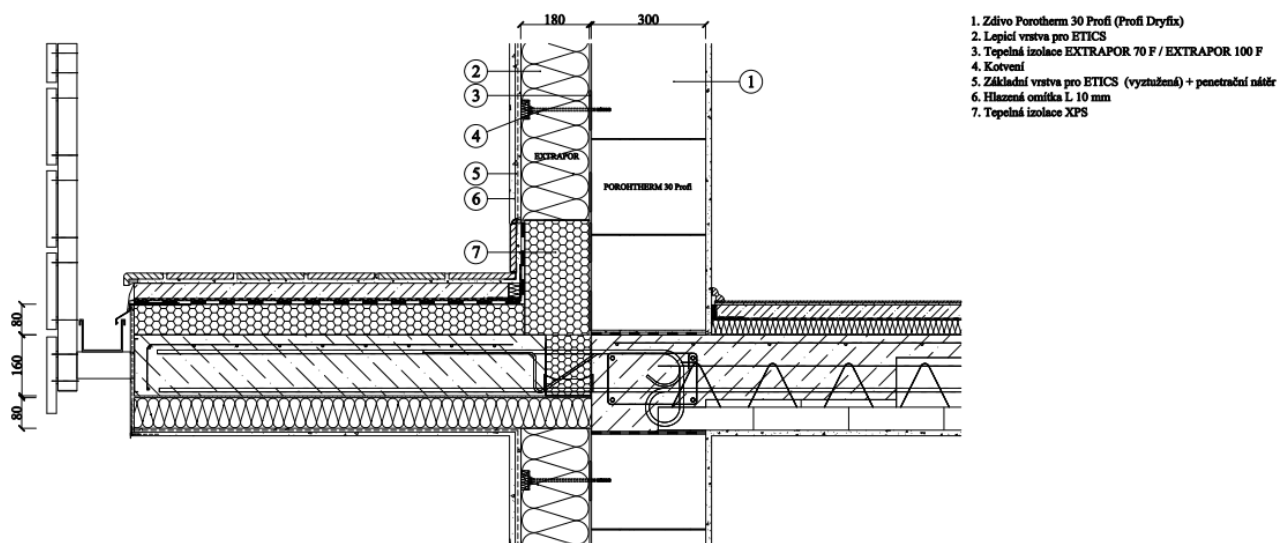
Návrh tloušťky tepelné izolace spočívá ve zjištění součinitele prostupu tepla stávající konstrukce a následnému vložení ETICS do výpočtu s neznámou tloušťkou izolace pro projektantem požadovaný součinitel prostupu tepla. O součiniteli prostupu tepla píšou v bodě 1.3.

Výhodou ETICS je efektivní zateplení budovy. Vzhledem k velikosti projektu lze určit i náročnost montáže. Při rekonstrukci fasády se použití ETICS velmi vyplatí. Lze s tímto systémem dosáhnout velmi velkého potenciálu úspory energií na vytápění. Zároveň vnější tepelná izolace chrání konstrukci obvodového zdiva před namrzáním a před vodními zisky z exteriéru. Objekt je velmi dobře tepelně izolovaný a realizace ETICS zvyšuje hodnotu samotné budovy. Kladení důrazu na energetickou náročnost budovy se v době vysokých cen energií opravdu vyplatí.

Nevýhodou systému jsou relativně vysoké pořizovací náklady, pokud se jedná o rekonstrukci čistě z důvodu realizace ETICS a ne jako doplnění při nutné nebo probíhající rekonstrukci, vzhledem k nutnosti nového návrhu, potřeby realizační firmy, potřeby lešení, materiálu zvláště pro „zateplování“ atd. Dále je důležité klást důraz na zásady provádění, jinak může být výsledek či už samotný průběh realizace velmi znepokojující – nerovný či neočištěný podklad, chybné provedení v oblasti otvorů, neřešené tepelné mosty kotev atd. Povrch fasády je vcelku náchylný ke znečištění a mechanická odolnost – ač vylepšená rohovníky a výztužnou tkaninou – není velká. V některých případech mají v oblibě datlové „vypůjčit“ si kus izolace a vyrobit tak tepelný most, nebo kolem prochází nějaký lidský nešťastník, který si bouchne do fasády ať už hrdě pěstí v možném alkoholovém opojení, nebo při realizaci jiné důležité práce nechtěně narazí do fasády nějakým pevným objektem. Tato mechanická poškození je následně nutno odstranit pro správnou funkci oblasti zateplení a estetický vzhled. Je důležité brát v potaz i minimální výměnu vzduchu v místnosti. Utěsnění obálky budovy znemožňuje stěnám tzv. „dýchat“ a proto při přítomnosti osob či technologie znehodnocující vzduch dochází ke zvýšení koncentrace škodlivin. Podle informací tým odborníků z AIN sdělil, že roste počet případů zvýšení koncentrace radonu v některých nově zateplených budovách[35].



Obr. 39 – detail skladby ETICS na nové zdi [36]



Obr. 40 – detail skladby ETICS v místě balkonu [37]

## 5. Větrané fasády

Obecně jsem tyto fasády již popisoval v bodě 2.7. Jde o použití předsazeného vnějšího pláště zpravidla z relativně lehké konstrukce před obvodovou zeď tak, aby mezi tímto pláštěm a tepelnou izolací použitou na vnějším povrchu obvodové zdi vznikla vzduchová mezera. Sice se používají u některých velkých budov systémy s uzavřeným okruhem vzduchu v mezeře (nespojeným s vnějším prostředím), ale všeobecně má větraná mezera dolní vstupní a horní výstupní otvor pro umožnění proudění vzduchu, případně vzduch prostupuje přes otevřené spáry obkladů. Tyto otvory jsou opatřeny ve spodní části mřížkou proti vniknutí hmyzu a hlodavců a nahoře jsou opatřeny proti vniknutí ptactva nebo dešťové vody.



Obr. 41 – pohled ze vstupního otvoru dovnitř vzduchové dutiny tlusté zhruba 120 mm, zdroj: fotodokumentace výzkumného týmu

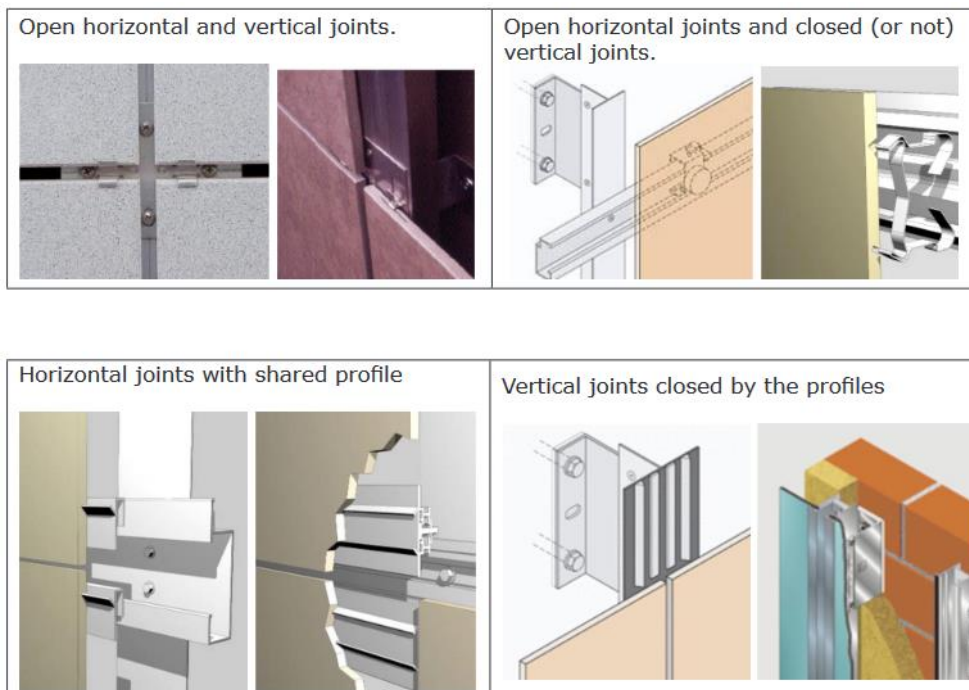
Na obrázku č. 41 je vidět pohled dovnitř vzduchové dutiny směrem zespoda nahoru. V horní části obrázku je obkladový cementovláknitý panel směřující do exteriéru. Uprostřed je vidět vzduchová dutina sahající do výšky 14 metrů, která je ze stran lemovaná nosnou konstrukcí panelů – dlouhých hliníkových profilů vnesených na stěnové úhelníky, které jsou skrz tepelnou izolaci kotveny do nosné části obvodové zdi. Ve spodní části je vrstva difuzně otevřené fólie, která chrání minerální vatu nacházející se pod ní. Ta je kotvena ke zdi talířovými hmoždinkami, které na fotce reprezentují tmavé umělohmotné „terče“.



*Obr. 42 – bližší pohled na systém nosucí obkladové panely, které jsou přichyceny nýty,  
zdroj: fotodokumentace výzkumného týmu*

Nosný systém skládající se z kovových stěnových úhelníků musí vystupovat ze zdi přes tepelnou izolaci. To způsobuje malé tepelné mosty, které jsou nově zahrnuty v moderním výpočtu součinitele prostupu tepla pro větrané fasády. Výrazně zmenšit vliv tepelného mostu lze použitím speciální podložky vložené mezi úhelník a stěnu při jeho osazování. Konstrukci lze navrhnout pro různá zatížení a tudíž se nabízí pestrá škála možných materiálů, produktů a systémů, které lze použít jako vnější opláštění. Různé druhy popisují v kapitole 2 této části diplomové práce.

Minerální vlnu chrání před vlhkostí a případnému vniku vodních kapek z exteriéru její hydrofobizace. Doporučuje se však ještě na povrch tepelné izolace použít dostatečně účinnou difuzně otevřenou fólii. Pro minimalizaci nežádoucího vniku kapek do mezery lze použít různé systémy. Mezi nejznámější patří zajištění co nejmenší šířky spár obkladových materiálů nebo úplné zavření prostoru spár z vnitřní strany obkladu pomocí nosných profilů. To představuje profily uzavírající vertikální spáry a horizontální profily vytvářející samostatný kanál uvnitř profilu.



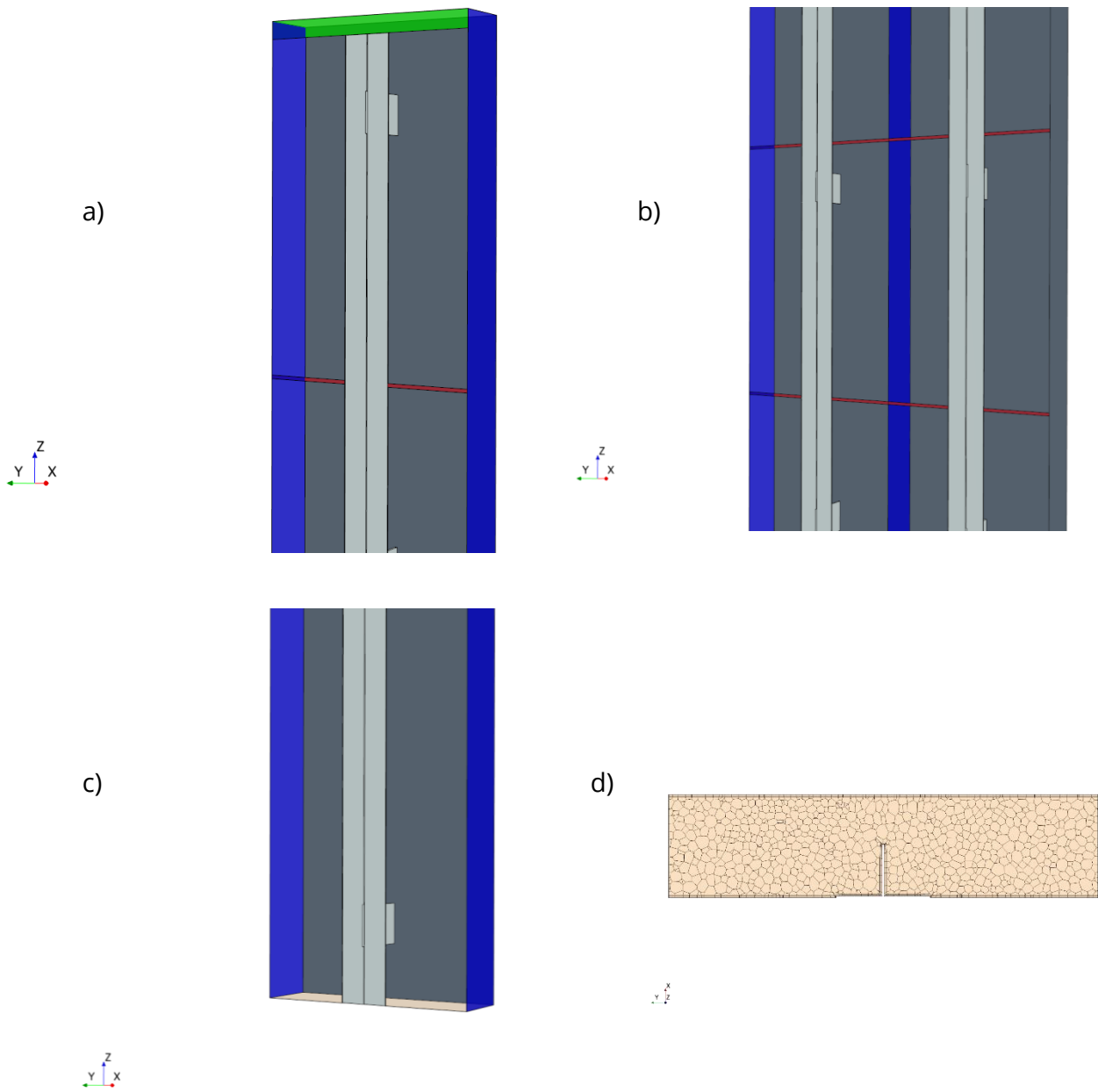
Obr. 43 – otevřené a uzavřené spoje nosných profilů [38]

Dešťová voda může do mezery vnikat třemi způsoby (v závorce významnější)[38]:

- stékáním po povrchu obkladu až do spáry (přes vodorovné spáry)
- rozdíly v tlaku mezi mezerou a vnějším prostředím (přes svislé i vodorovné spáry)
- přímý vstup působením větru (přes svislé spáry)

Samotný vzduch v mezeře proudí konvektivně díky jevu zvanému „komínový efekt“. Teplota vzduchu v horní části je vyšší důsledkem ohřevu vzduchu po výšce fasády. Vzduch se může nepatrně ohřívat prostupem tepla z interiéru (díky tepelné izolaci je tento jev minimální). Daleko větší význam má ale vliv sluneční radiace. Slunce působením svých paprsků ohřívá obklad, který následně oslává vzduch v mezeře. Teplejší vzduch nahoře je hlavně díky tomu, že se vzduch neustále ohřívá po celé délce jeho proudu, dokud nedojde do nejvyššího místa fasády, odkud je vypuštěn do exteriéru. Na vstupu do mezery, tedy v nejspodnější části, předpokládáme, že vzduch má stejné vlastnosti jako vzduch v exteriéru. Vzduch je nasáván proudem vzduchu a následně se, jak jsem již zmínil, po výšce fasády ohřívá.

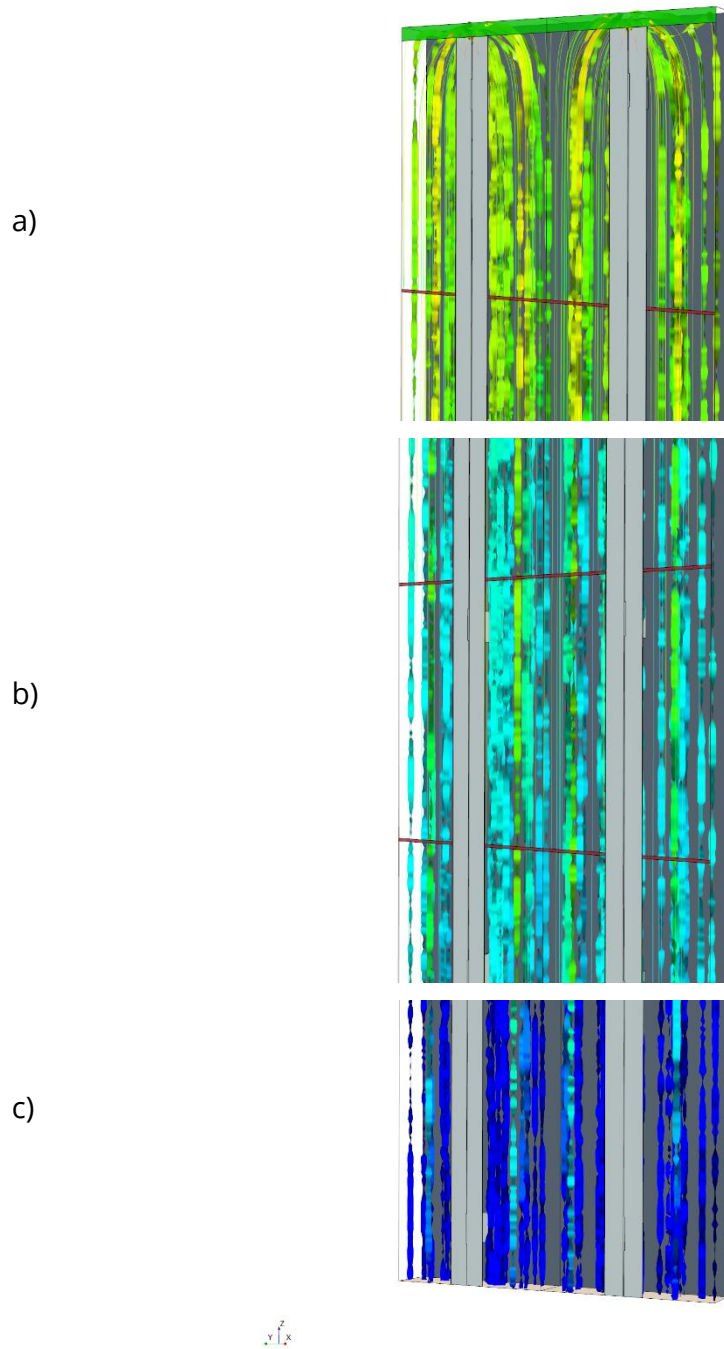
Samotný pohyb vzduchu zajišťuje tlakový rozdíl mezi vzduchem v horní části fasády a vzduchem v dolní části. Teplejší vzduch je lehčí a stoupá nahoru, kde vytlačuje těžší vzduch nad ním (pro představení – jako vzduchová bublina ve vodě). Protože vzduch je hmota skládající se z molekul, musí vzduch vycházející z mezery ven nahradit jiná hmota. Proto je vzduch ve spodní části z exteriéru nasáván do mezery. Přesněji se molekuly vzduchu při absorbování teplé energie dají do rychlejšího pohybu, expandují a vytvoří mezi sebou delší vzdálenosti. Kdežto studený vzduch má molekuly staženy víc k sobě v důsledku absorbování mnohem méně energie a vzduch má tak větší hustotu – objemovou hmotnost.



*Obr. 44 – geometrie použitá při modelování jevů ve vzduchové mezeře,  
zdroj: výsledky výzkumného týmu*

- a) horní část fasády
- b) symetrie vedlejších polí
- c) dolní část fasády
- d) vodorovný profil pole vzduchové mezery

Červenec



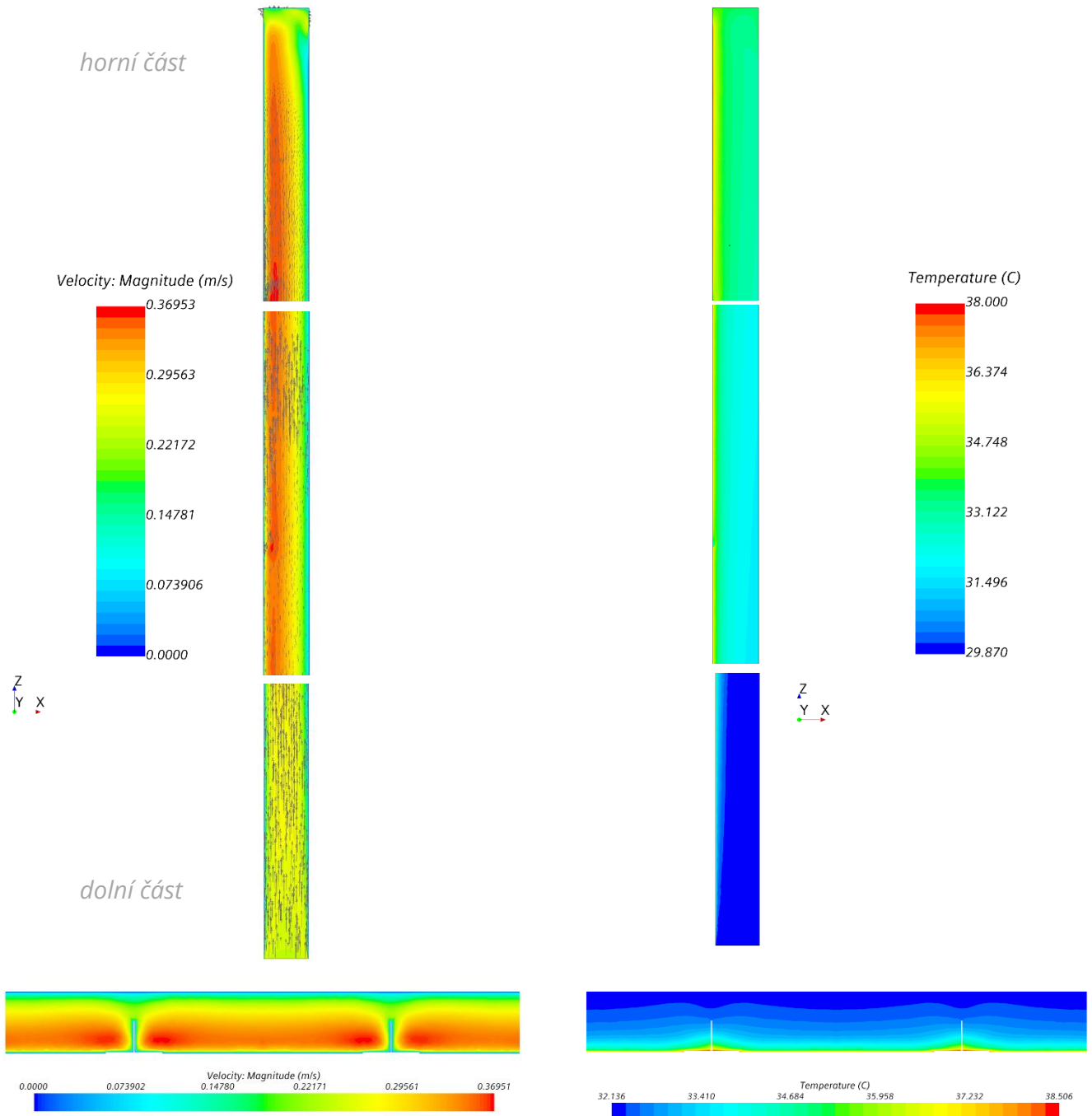
Obr. 45 – simulace proudů vzduchu ve větrané mezeře v létě,  
zdroj: výsledky výzkumného týmu

- a) horní část fasády
- b) střední část fasády
- c) dolní část fasády

**Červenec**

Rychlost proudění:

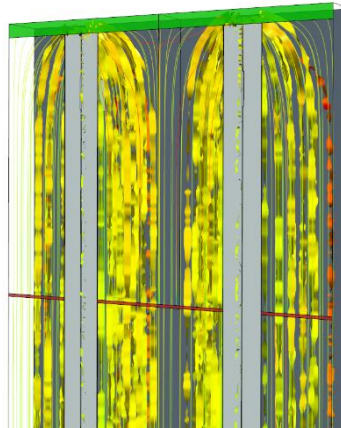
Teplota vzduchu:



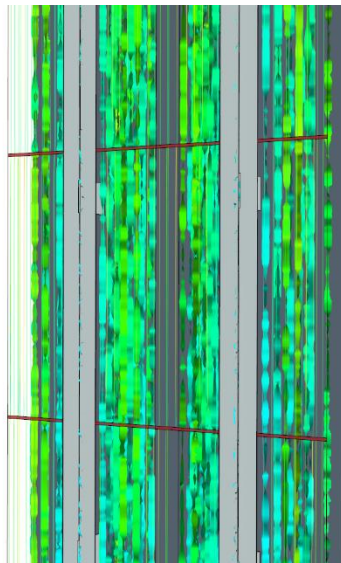
Obr. 46 – simulace proudění vzduchu a teplot po výšce mezery a v jejím řezu v létě,  
zdroj: výsledky výzkumného týmu

**Leden**

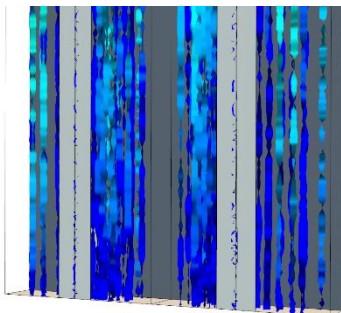
a)



b)



c)



$\vec{z}$   
 $\vec{y}$   $\vec{x}$

Obr. 47 – simulace proudů vzduchu ve větrané mezeře v zimě,  
zdroj: výsledky výzkumného týmu

a) horní část fasády

b) střední část fasády

c) dolní část fasády

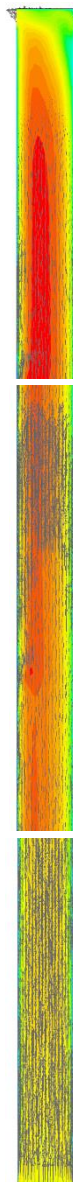
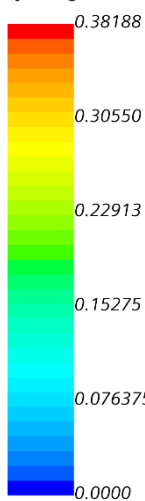
**Leden**

Rychlost proudění:

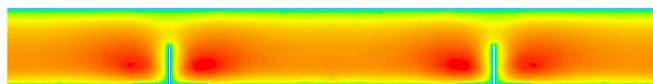
Teplota vzduchu:

horní část

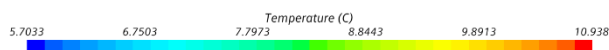
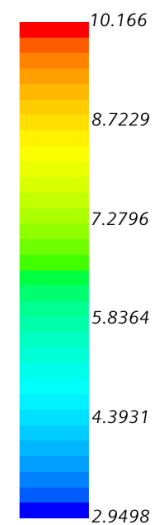
Velocity: Magnitude (m/s)



dolní část



Temperature (C)



Obr. 48 – simulace proudění vzduchu a teplot po výšce mezery a v jejím řezu v zimě, zdroj: výsledky výzkumného týmu

Podle otevřenosti spár známe systémy otevřené a uzavřené. Jejich ilustrace je na obrázku č. 43. Uzavřené spáry jednoznačně poskytují lepší, i když ne stoprocentní ochranu před vnikem dešťové vody do vnitřního prostoru větrané mezery. Otevřené spáry ale daleko lépe umožňují odpar nežádoucí vzdušné vlhkosti z konstrukce. Při správném provedení ale v obou případech přítomnost vodních kapek uvnitř fasády nepředstavuje nebezpečí znehodnocení dílů fasády nebo tepelné izolace a tato voda se v důsledku přirozených fyzikálních jevů za relativně krátký čas vypaří.

Vnější plášť z odolného materiálu chrání samotnou konstrukci obvodové zdi před účinky povětrnostních vlivů. Oproti systému ETICS není celá plocha obvodové zdi vystavena přímé sluneční radiaci a přímým účinkům větru. To znatelně snižuje tepelné toky z a do obvodové konstrukce. Vzduchová mezera tak vytváří důmyslnou doplňující vrstvu jakési dynamické tepelné izolace.



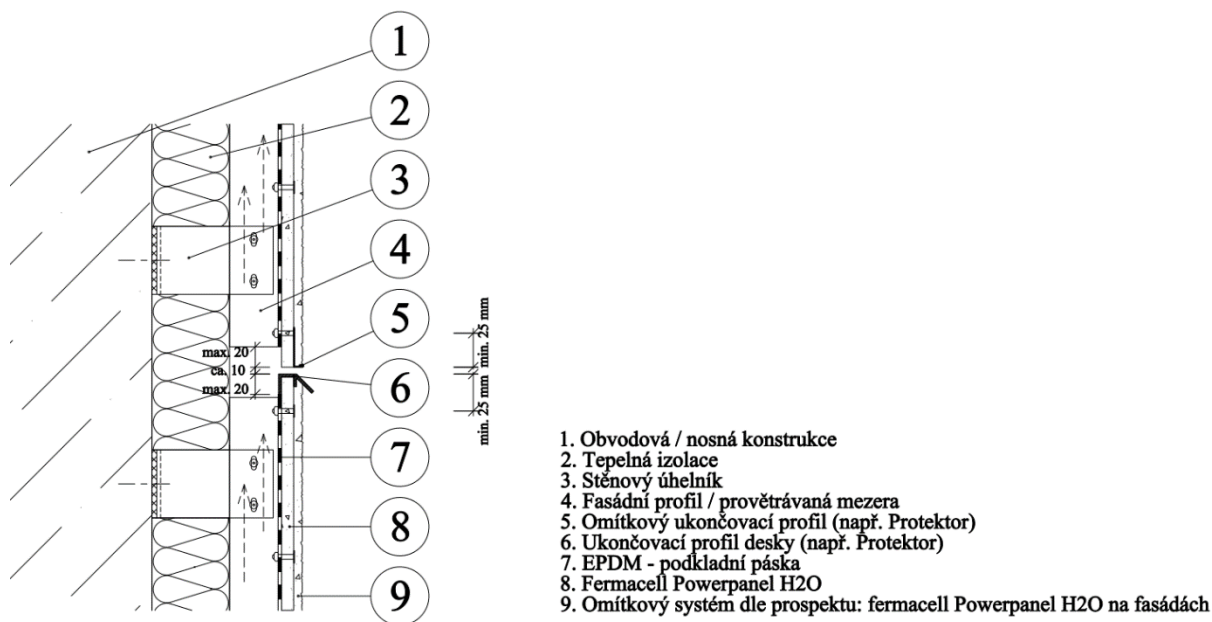
*Obr. 49 – bližší pohled z vnitřní části fasády na realizovaný nosný systém obložení,  
zdroj: fotodokumentace výzkumného týmu*

Z akustického hlediska vytváří předsazený obvodový plášť jakousi první bariéru proti hluku z exteriéru. Přes vzduchovou mezeru se pak zbytek hluku dostává do minerální vlny a nosné vrstvy zdiva, kde je zpravidla eliminován. Proti účinkům vibrací se doporučuje používat již zmiňované podložky pro omezení (nejen) vzniku tepelných mostů, které se vkládají mezi úhelník a nosnou zeď při samotné montáži nosného systému vnějšího pláště.

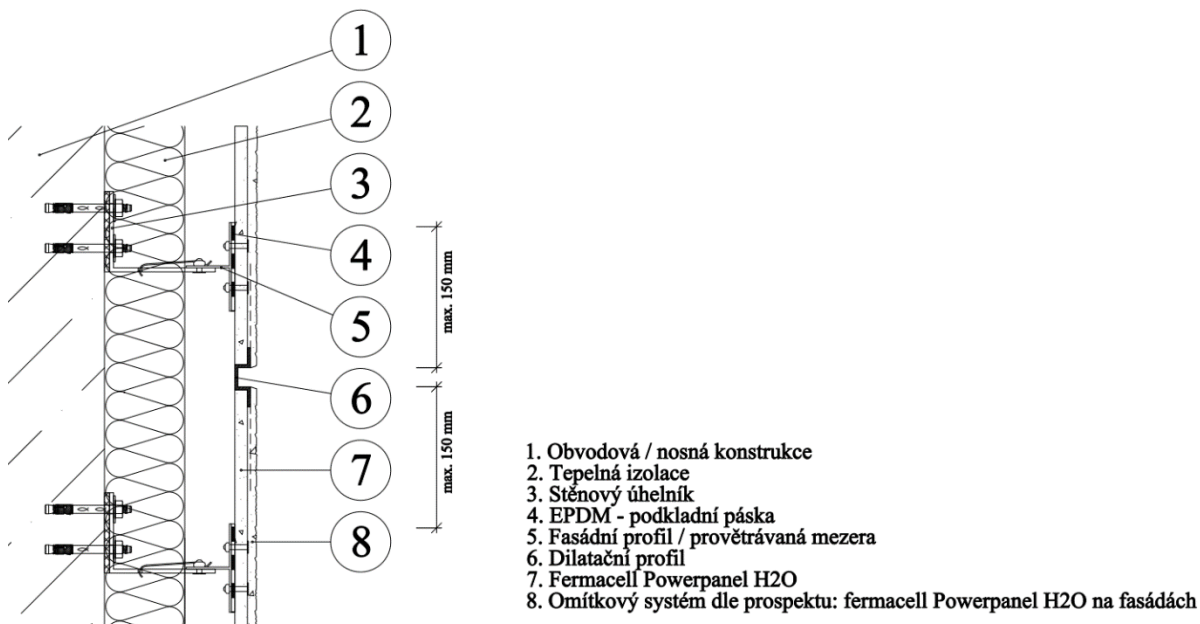
Pro malé plochy fasády lze použít na nosnou konstrukci obkladu i dřevěný materiál. Konkrétněji lze z dřevěných latí upevněných na nosnou zeď sestavit nosný rošt, na který je následně montovaný obklad – většinou dřevěný, ale není to pravidlem. Použití dřeva pro nosné konstrukce vnějšího pláště je u větších fasád zatím jen myšlenka do budoucna.

Při realizaci větrané fasády je nutno dodržet minimální šířku větrané mezery 40 mm a je zde kladen velký důraz na připravenost podkladu (rovinnost a čistota povrchu nosné zdi, případně správné osazení okenních výplní, ...).

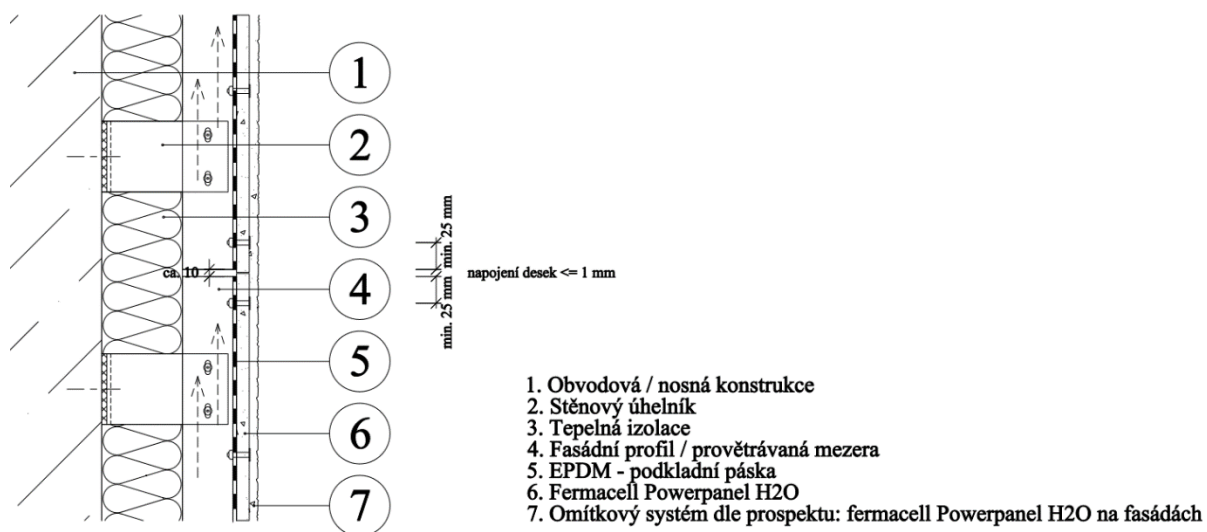
## Konstrukční řešení - detaily



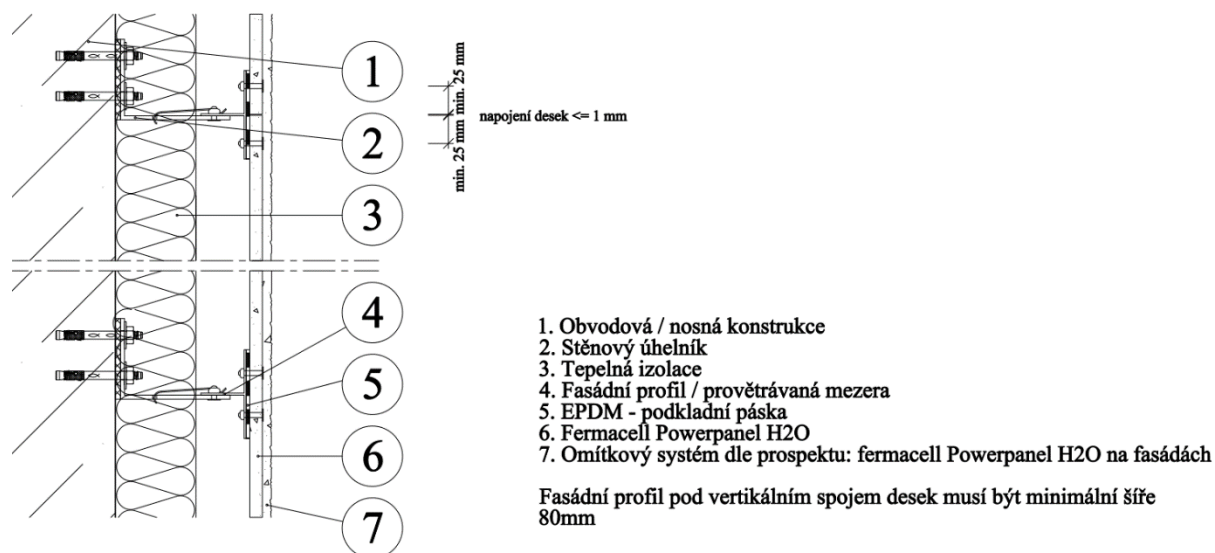
Obr. 50 – řez vodorovnou dilatační spárou [39]



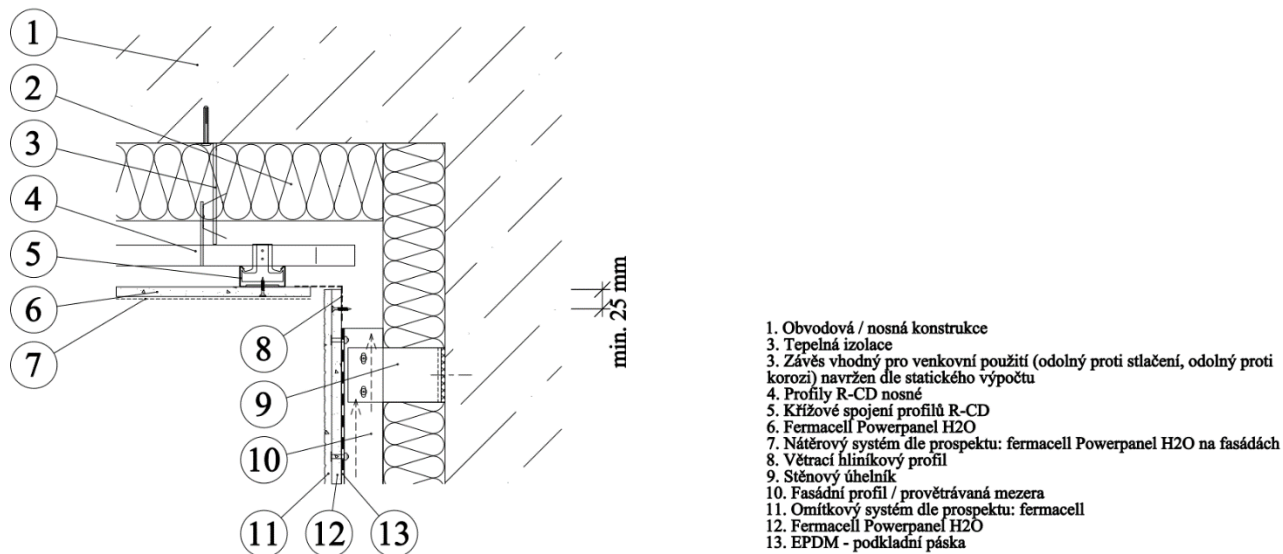
Obr. 51 – půdorys svislé dilatační spáry [40]



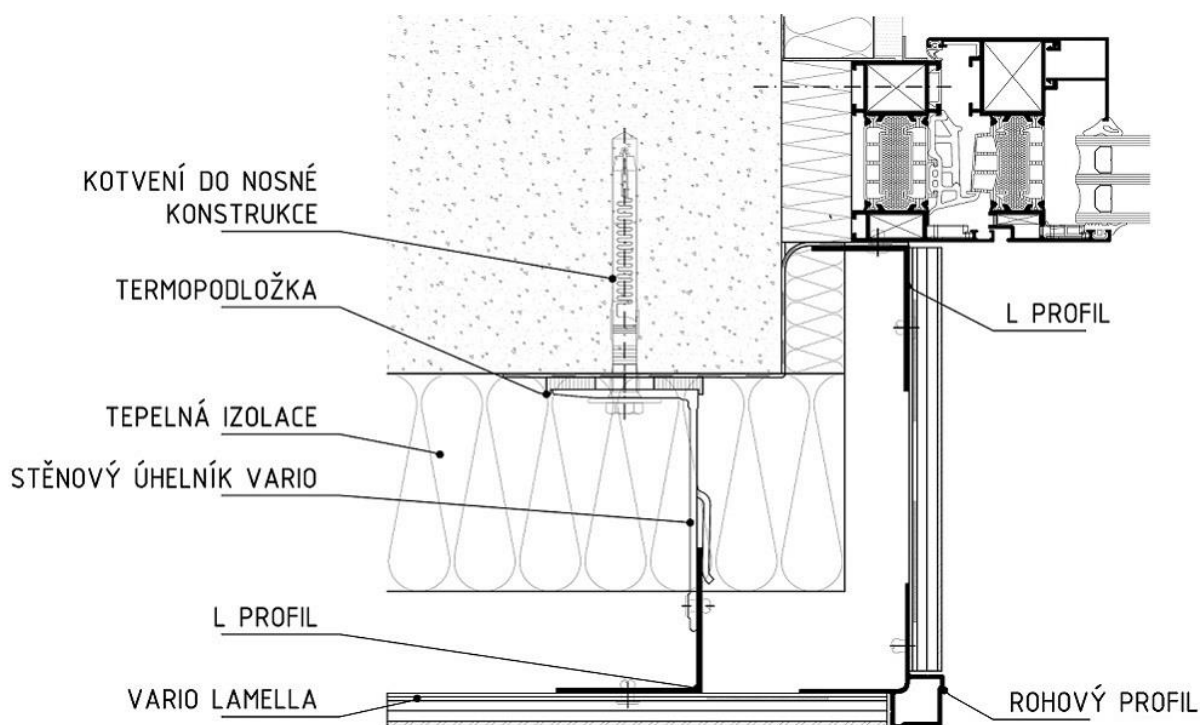
Obr. 52 – řez – zobrazení spoje desek [41]



Obr. 53 – půdorys – zobrazení napojení desek [42]



Obr. 54 – řez – detail řešení rohu stěny a stropu [43]



Obr. 55 – půdorys – detail řešení ostění okenního otvoru [44]

#### Výhody provětrávaných fasád:

- vynikající tepelně technické vlastnosti
  - vzduchová mezera chráněná vnějším pláštěm se chová jako přídatná tepelná izolace s dynamickým účinkem
  - tato složená skladba způsobuje menší tepelné toky v porovnání s ETICS a tím pádem i nižší zatížení materiálu obvodové zdi, což má pozitivní vliv na životnost konstrukce
  - v létě skvěle odvádí přebytečné teplo a v zimě podporuje funkci tepelné izolace a chrání ji před vnějšími vlivy
  - dává možnost obvodové zdi lépe akumulovat tepelnou energii a vyměňovat si ji s vnitřním mikroklimatem
- vynikající vlastnosti z pohledu vodních zisků
  - vzduchová mezera umožňuje proudem vzduchu odvádět vlhkost z konstrukce, což má zase za následek menší zátěž na materiály stěny a prodlužuje její životnost
  - fasáda chrání obvodovou zeď (a tím pádem i interiér proti vlhkosti) před přímými vodními zisky z povětrnostních vlivů
- akustická izolace ruku v ruce s tepelnou izolací
  - větraná fasáda, jak jsem již psal, velmi dobře izoluje hluk z exteriéru
- vnější plášť snáší nejméně zátěže z exteriéru
  - odolnější materiály mohou takto chránit samotnou obvodovou zeď
- variabilní volba povrchu vnějšího pláště
  - s ohledem na estetické a architektonické hledisko lze použít širokou škálu skvěle vypadajících materiálů se skvělou odolností
- suchý proces výstavby
- přidává hodnotu nemovitosti

#### Nevýhody:

- vysoká cena pořízení
- složitější realizace než u ETICS

Do budoucna se připravuje projekt inteligentních fasád, kterých základním kamenem bude výzkum a vývoj softwaru počítajícího potřebné parametry pro její návrh. Výzkum a vývoj softwaru probíhá za podpory projektu TAČR číslo FW03010062: Chytrá fasáda s optimalizovanými energetickými vlastnostmi. Součástí tohoto výzkumu jsem i já a svou práci popisuji ve třetí, experimentální části této diplomové práce.

Inteligentní fasáda umožňuje řízení pohybu vzduchu s ohledem na vnější vlivy pro maximalizaci energetického využití fasády v náš prospěch. Bližší detaily tohoto prototypu by v budoucnu mohla přinést další akademická práce po dalších výsledcích výzkumu. Software FSVM 2.0 pracuje s výpočtem, který již funkci chytré fasády zahrnuje ve svých kalkulacích. Náhled přináším v následující části této diplomové práce.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## ČÁST B – PRAKTICKÁ ČÁST

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ FASÁDY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Radek Salajka**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.**

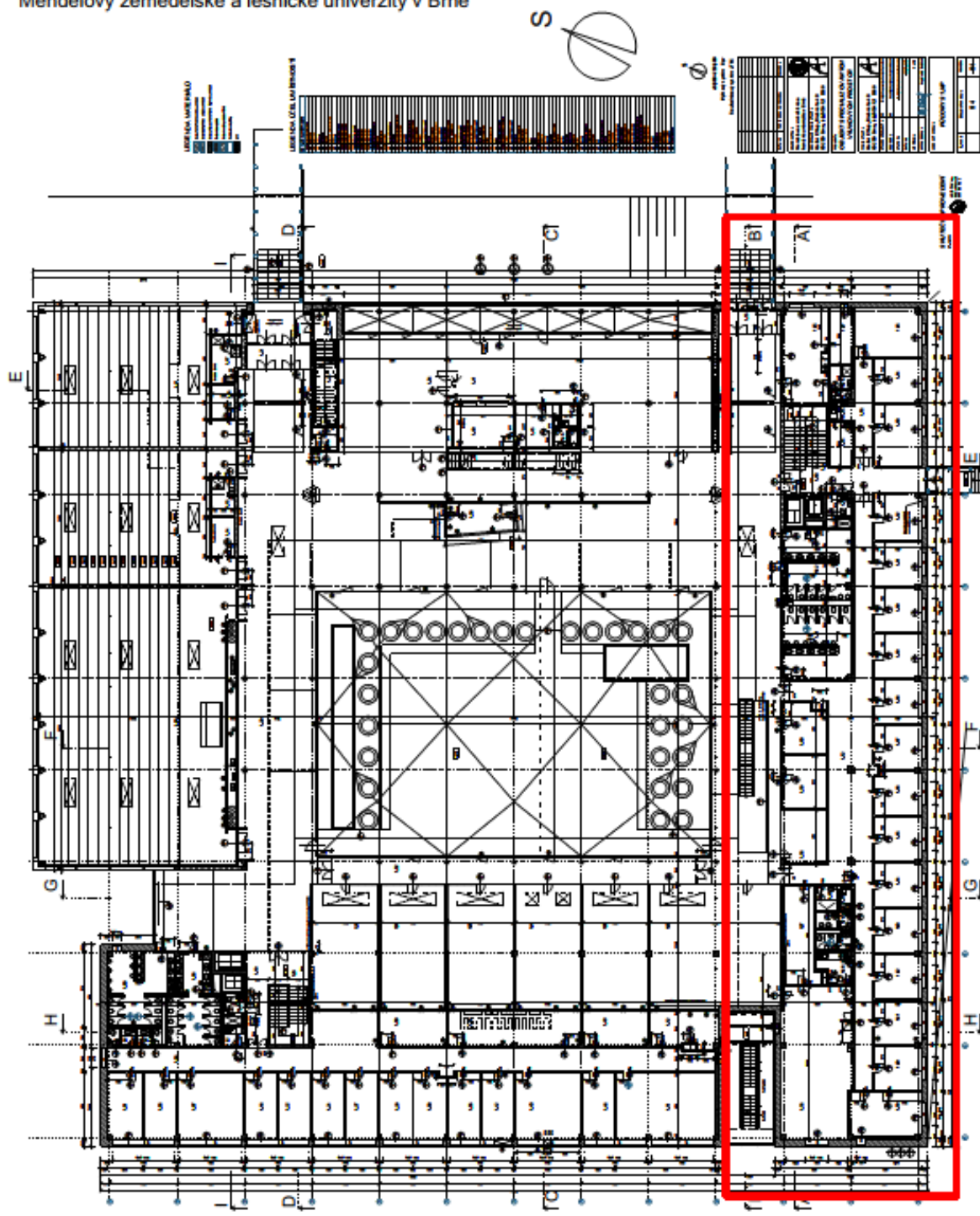
**BRNO 2022**

## B. Praktická část – aplikace tématu na zadané budově

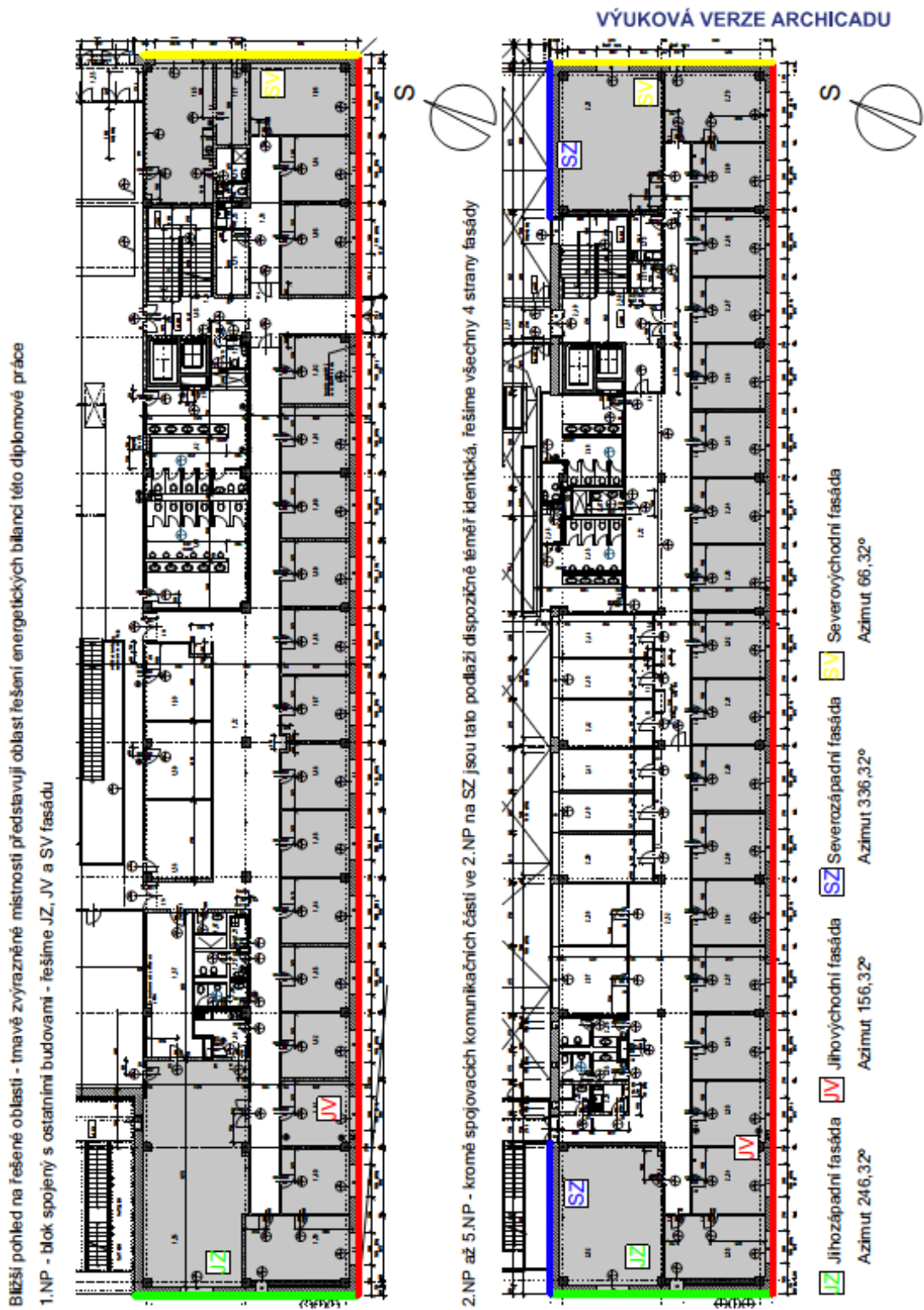
### 1. Zadání

VÝUKOVÁ VERZE ARCHICADU

Řešená budova - jihovýchodní blok Provozně ekonomické fakulty  
Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně



Obr. 56 – zobrazená řešená jihovýchodní část fakulty – originál v příloze A  
(vkládání formátu PDF do souborů MS Word je předmětem dalších studií autora)



Obr. 57 – schéma řešených prostor a fasád jihovýchodního bloku – originál v příloze B

## 2. Vstupní hodnoty a okrajové podmínky

### 2.1. Parametry budovy a řešených prostor

Zeměpisná šířka	49.21N
Zeměpisná délka	16.61E
Nadmořská výška	0,000 = 239,6 m n. m.
Větrá oblast	2
Ortografie	město
Sluneční konstanta	1370 W.m <sup>-2</sup>
Amplituda kolísání teplot	7 K
Teplota interiéru v zimním období	20 °C
Teplota exteriéru v zimním období	-12 °C
Teplota interiéru v letním období	25 °C
Teplota exteriéru v letním období	32 °C
Měrná tepelná kapacita vzduchu	1010 J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Hustota vzduchu	1,2 kg.m <sup>-3</sup>
Teplota přilehlých místností v létě	stejná 25 °C
Teplota přilehlých místností v zimě	chodby a suterén 15 °C ostatní místnosti 18 °C
Návrhová hodnota výměny vzduchu	0,4 h <sup>-1</sup>
Datum výpočtu tepelné zátěže	21. července

### 2.2. Parametry větrané fasády (návrh)

Typ pláště	lehký
Materiál stěnového úhelníku	ocel
Tloušťka podložky	10 mm
Vtokový součinitel dolní	0,4
Výtokový součinitel horní	0,6
Hloubka vzduchové mezery	100 mm
Zúžení přívodního větracího otvoru	80 %
Zúžení odvodního větracího otvoru	70 %

Tloušťka obkladu	0,08 m
Tepelná vodivost obkladu	0,3 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
Poměrná sluneční pohltivost	0,7
Výchozí součinitel $\alpha_e^*$	20 W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup>
Průvzdušnost pláště	20 %

Sestavení klapek pro chytrou fasádu:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Stav	Za	Za	Ot	Ot	Ot	Ot	Ot	Ot	Ot	Ot	Za	Za

Z – zavřeno, O – otevřeno

### 2.3. Parametry fasády podle orientace ke světovým stranám:

#### Jihozápadní fasáda (JZ)

Plocha celé fasády vč. otvorů:	286 m <sup>2</sup>
Plocha otvorů:	26 m <sup>2</sup>
Šířka fasády:	13,6 m
Azimut:	246 °
Výška fasády:	21 m

#### Jihovýchodní fasáda (JV)

Plocha celé fasády vč. otvorů:	1644 m <sup>2</sup>
Plocha otvorů:	335 m <sup>2</sup>
Šířka fasády:	75,4 m
Azimut:	156 °
Výška fasády:	21 m

#### Severovýchodní fasáda (SV)

Plocha celé fasády vč. otvorů:	286 m <sup>2</sup>
Plocha otvorů:	28 m <sup>2</sup>
Šířka fasády:	13,6 m
Azimut:	66 °
Výška fasády:	21 m

Severozápadní fasáda (SZ)

Plocha celé fasády vč. otvorů:	333 m <sup>2</sup>
Plocha otvorů:	0 m <sup>2</sup>
Šířka fasády:	13,6 m
Azimut:	336 °
Výška fasády:	18 m

### 3. Výpočet tepelných ztrát podle ČSN 12 831

#### 3.1. Součinitel prostupu tepla U

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

$\alpha_{int}$  — součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>]

$\alpha_{ext}$  — součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>]

$d_i$  — tloušťka i-té vrstvy konstrukce [m]

$\lambda_i$  — součinitel tepelné vodivosti materiálu i-té vrstvy konstrukce [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

Hodnoty „U“ u stávající budovy:

Obvodová nosná stěna tl. 440 mm							
konstrukce	č.v.	materiál	d [m]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K-1]	R [m <sup>2</sup> .K.W-1]	
S1	1	Venkovní štuková omítka	0,015	2000	0,990	0,015	$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
	2	Tepelněizolační keram. cihla	0,440	800	0,180	2,444	
	3	Vnitřní vápenná lehčená omítka	0,005	1300	0,520	0,010	
	4						$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
	5						
	6						
Porotherm 440						$\sum R = 2,469$	<b><math>U = 0,38 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}</math></b>

Obr. 58 – součinitele prostupu tepla konstrukcí (pokr. na další straně), originál v příloze C

Vnitřní příčka tl. 150 mm							
konstrukce	č.v.	materiál	d [m]	ρ [kg.m <sup>-3</sup> ]	λ [W.m <sup>-1</sup> .K-1]	R [m <sup>2</sup> .K.W-1]	
S2	1	Vnitřní vápenná lehčená omítka	0,005	1300	0,520	0,010	R <sub>si</sub> = 0,13 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
	2	Pórobetonové zdivo	0,150	400	0,130	1,154	
	3	Vnitřní vápenná lehčená omítka	0,005	1300	0,520	0,010	
	4						R <sub>T</sub> = 1,433 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
	5						
	6						
YTONG P2						Σ R = 1,173	<b>U = 0,70 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup></b>

Stropní a podlahová konstrukce							
konstrukce	č.v.	materiál	d [m]	ρ [kg.m <sup>-3</sup> ]	λ [W.m <sup>-1</sup> .K-1]	R [m <sup>2</sup> .K.W-1]	
T1	1	Betonová podlaha	0,050	2200	1,500	0,033	R <sub>si</sub> = 0,17 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
	2	Nosná železobetonová konstrukce	0,150	2300	0,930	0,161	
	3	Vzduchová vrstva	0,050	-	-	0,180	
	4	Stropní panely 120x60 cm z pěnového skla	0,015	140	0,03	0,500	R <sub>T</sub> = 1,215 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
	5						
	6						
Počítáno pouze při prostupu tepla do nevytápěného suterénu z 1.NP						Σ R = 0,875	<b>U = 0,82 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup></b>

Střešní konstrukce							
konstrukce	č.v.	materiál	d [m]	ρ [kg.m <sup>-3</sup> ]	λ [W.m <sup>-1</sup> .K-1]	R [m <sup>2</sup> .K.W-1]	
T2	1	Bitumenová šindel	0,010	1100	0,230	0,043	R <sub>si</sub> = 0,10 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
	2	Pórobetonové desky	0,200	600	0,180	1,111	
	3	Minerální vlna	0,050	100	0,055	0,909	
	4	Nosná železobetonová konstrukce	0,150	2300	0,930	0,161	R <sub>se</sub> = 0,04 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>
	5	Vzduchová vrstva	0,050	-	-	0,180	
	6	Stropní panely 120x60 cm z pěnového skla	0,015	140	0,03	0,500	
Počítáno pouze při prostupu tepla do exteriéru z 5.NP						Σ R = 2,905	<b>U = 0,33 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup></b>

Obr. 58 – součinitele prostupu tepla konstrukcí (pokračování), originál v příloze C

**Okna**      **U = 1,4 W.m-2.K-1**  
 - světelná propustnost 58 %  
 - světelná reflexe 33 %  
 - stínící faktor 0,58

**Dveře**      **U = 0,93 W.m-2.K-2**

Data plynou z dodané projektové dokumentace stávajícího stavu.

### 3.2. Tepelné ztráty stávající budovy

<b>VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT</b>		Výpočtová vnitřní teplota	Výpočtová venkovní teplota				
Místnost č. 1.56 - zasedací místnost		$t_i = 20\text{ °C}$	$t_e = -12\text{ °C}$				
<b>Tepelné ztráty prostupem do venkovního prostředí</b>							
Ozn. k-ce	Popis	$A_k$	$U_k$	$\Delta U$	$U_{kc}$	$e_k$	$A_k * U_{kc} * e_k$
S1a1	Obvodová stěna SZ	37,82	0,38	0,02	0,40	1,00	15,13
S1a4	Obvodová stěna JZ	17,06	0,38	0,02	0,40	1,00	6,82
Oka4	Okno JZ	3,70	1,40	0,05	1,45	1,00	5,37
Dva1	Dveře SZ	1,60	0,93	0,05	0,98	1,00	1,57
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k * U_k * e_k$ (W/K):							<b>28,89</b>
<b>Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na rozdílné teploty</b>							
Ozn.	Popis	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$U_k$ [W/m <sup>2</sup> K]	$f_{ij}$ [-]	$A_k * U_k * f_{ij}$ [W/K]		
Spa_ostatni	Vnitřní příčka 150 mm	13,92	0,70	0,06	0,61		
Spa_chodba	Vnitřní příčka 150 mm	24,61	0,70	0,16	2,69		
Dvia_ostatni	Dveře do ost. prostor	5,67	0,93	0,06	0,33		
Dvia_chodba	Dveře do chodby	3,57	0,93	0,16	0,52		
Pla	Podlaha nad suteréner	86,85	0,82	0,16	11,13		
Celková měrná tepelná ztráta z/do prostorů rozdílných teplot $H_{t,ij} = \sum_k A_k * U_k * f_{ij}$ (W/K):							<b>15,28</b>
<b>Celková měrná tepelná ztráta prostupem <math>H_T</math> (W/K):</b>							<b>44,16</b>
$H_v = V_i * 0,34$	$V_i = n50 * V_m$	$V_m = 263,16\text{ m}^3$	$V_i = 105,26\text{ m}^3/\text{h}$				
<b>Celková měrná tepelná ztráta větráním <math>H_v</math> (W/K):</b>							<b>35,79</b>

Obr. 59 – výpočet tepelných ztrát jedné místnosti v 1.NP, ostatní místnosti v příloze D

#### Výsledky:

<b>1.NP - měrná ztráta</b>		
Celkem podlaží:	492,15	W/K
Celkem prostup:	313,34	W/K
Celkem větrání:	178,81	W/K
Celkem SZ:	16,70	W/K
Celkem SV:	24,38	W/K
Celkem JV:	160,62	W/K
Celkem JZ:	22,70	W/K
<b>Celkem obálka:</b>	<b>224,40</b>	<b>W/K</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>88,94</i>	<i>W/K</i>
<b>2.NP - měrná ztráta</b>		
Celkem podlaží:	447,47	W/K
Celkem prostup:	266,43	W/K
Celkem větrání:	181,04	W/K
Celkem SZ:	23,39	W/K
Celkem SV:	22,41	W/K
Celkem JV:	168,20	W/K
Celkem JZ:	22,41	W/K
<b>Celkem obálka:</b>	<b>236,40</b>	<b>W/K</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>30,02</i>	<i>W/K</i>

3.NP - měrná ztráta		
Celkem podlaží:	447,47	W/K
Celkem prostup:	266,43	W/K
Celkem větrání:	181,04	W/K
Celkem SZ:	23,39	W/K
Celkem SV:	22,41	W/K
Celkem JV:	168,20	W/K
Celkem JZ:	22,41	W/K
<b>Celkem obálka:</b>	<b>236,40</b>	<b>W/K</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>30,02</i>	<i>W/K</i>
4.NP - měrná ztráta		
Celkem podlaží:	447,47	W/K
Celkem prostup:	266,43	W/K
Celkem větrání:	181,04	W/K
Celkem SZ:	23,39	W/K
Celkem SV:	22,41	W/K
Celkem JV:	168,20	W/K
Celkem JZ:	22,41	W/K
<b>Celkem obálka:</b>	<b>236,40</b>	<b>W/K</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>30,02</i>	<i>W/K</i>
5.NP - měrná ztráta		
Celkem podlaží:	601,24	W/K
Celkem prostup:	420,19	W/K
Celkem větrání:	181,04	W/K
Celkem SZ:	23,39	W/K
Celkem SV:	22,41	W/K
Celkem JV:	168,20	W/K
Celkem JZ:	22,41	W/K
<b>Celkem obálka:</b>	<b>236,40</b>	<b>W/K</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>183,79</i>	<i>W/K</i>
Budova - měrná ztráta		
<b>*Celkem:</b>	<b>2435,79</b>	<b>W/K</b>
Celkem prostup:	1532,81	W/K
Celkem větrání:	902,98	W/K
Celkem SZ:	110,26	W/K
Celkem SV:	114,00	W/K
Celkem JV:	833,42	W/K
Celkem JZ:	112,32	W/K
<b>Celkem obálka:</b>	<b>1170,01</b>	<b>W/K</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>362,80</i>	<i>W/K</i>

Ztráta při rozdílu teplot $\Delta t = 32 \text{ K}$		
<b>Celkem:</b>	<b>77,95</b>	<b>kW</b>
Celkem prostup:	49,05	kW
Celkem větrání:	28,90	kW
Celkem SZ:	3,53	kW
Celkem SV:	3,65	kW
Celkem JV:	26,67	kW
Celkem JZ:	3,59	kW
<b>Celkem obálka:</b>	<b>37,44</b>	<b>kW</b>
<i>Celkem interiér:</i>	<i>11,61</i>	<i>kW</i>

Vysvětlení:

Podlaží/\*celkem = prostup + větrání

Obálka = ztráty do exteriéru přes fasádu včetně oken

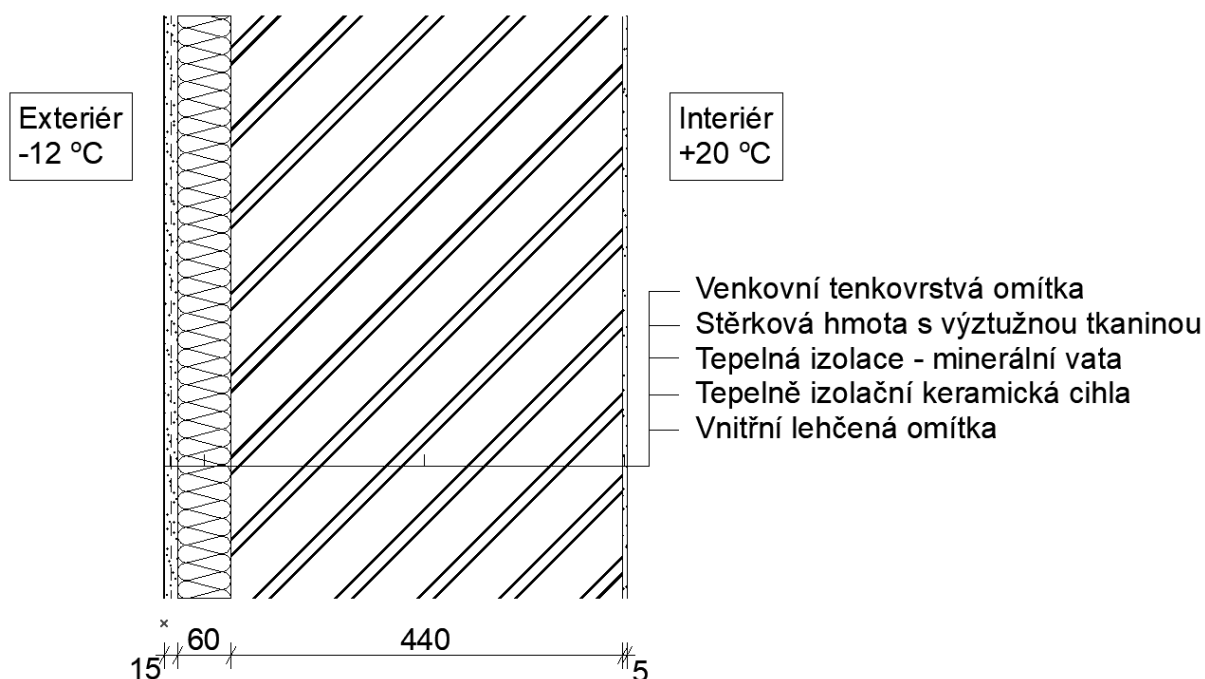
### 3.3. Návrh tloušťky tepelné izolace pro ETICS

$$d_{izolace} = \lambda_{izolace} * \left( \frac{1}{U} - \frac{1}{\alpha_{int}} - \frac{1}{\alpha_{ext}} - \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} \right) [m]$$

$$d_{izolace} = 0,041 * \left( \frac{1}{0,25} - \frac{1}{8} - \frac{1}{25} - \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} \right) [m]$$

$$d = 0,056 \text{ m}$$

Požadovaná tloušťka vybrané tepelné izolace pro doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla je  $d = 0,056 \text{ m}$ . Volím tloušťku  $d = 0,06 \text{ m} \rightarrow U = 0,24 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .



ETICS - Obvodová nosná stěna tl. 520 mm							
konstrukce	č.v.	materiál	d [m]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K-1]	R [m <sup>2</sup> .K.W-1]	
S1E	1	Venkovní tenkovrstvá omítka	0,005	1800	0,990	0,005	$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$
	2	Stěrkový podklad	0,010	2000	0,860	0,012	
	3	Tepelná izolace - minerální vata	0,060	30	0,041	1,463	$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$
	4	Tepelněizolační keram. cihla	0,440	800	0,180	2,444	
	5	Vnitřní vápenná lehčená omítka	0,005	1300	0,520	0,010	$R_T = 4,104 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$
	6						
Porotherm 440						$\Sigma R = 3,934$	<b><math>U = 0,24 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}</math></b>

Obr. 60 – detail řezu obvodové zdi s navrženým systémem ETICS a tabulka U [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>]

**Orientační cena zateplení vč. práce[45]:**

**5 572 800,- Kč bez DPH**

## 4. Výpočet tepelných zisků podle ČSN 73 0548

Reprezentativně – místnost v 1. NP, celá budova v příloze E

### 4.1. Vstupní hodnoty

Materiály a prvky obvodového pláště

Stěny: Porotherm 440

Okna:  $U_o = 1,40 \text{ [W/m}^2\text{K}^{-1}\text{]}$

Stěna:  $U_s = 0,38 \text{ [W/m}^2\text{K}^{-1}\text{]}$

Plošná hm. stěny:  $352 \text{ [kg/m}^2\text{]}$

Hloubka okna:  $d = 100 \text{ mm}$

- Účel Univerzitní pracovny
- Stínící součinitel 0,58
- Teplota vzduchu v interiéru  $t_{il} = 25 \text{ °C}$
- Teploty okolních místností  $25 \text{ °C}$
- Teplota vzduchu v exteriéru  $32 \text{ °C}$
- Měrná entalpie vzduchu v exteriéru  $56 \text{ kJ/kg s.v.}$

<i>h</i>	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>JZ</b>	28	63	92	117	138	153	289	442	556	615	611	540	407	230	55
<b>JV</b>	55	230	407	540	611	615	556	442	289	153	138	117	92	63	28
<b>SV</b>	98	333	432	417	325	189	163	166	163	153	138	117	92	63	28
<b>SZ</b>	28	63	92	117	138	153	163	166	163	189	325	417	432	333	98

Tabulka intenzity celkové sluneční radiace dopadající na různě orientované stěny při průměrném znečištění atmosféry pro  $50 \text{ ° s. š.}$  – hodnoty převzaté z normy ČSN 73 0548

<i>h</i>	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>JZ</b>	24	53	78	100	117	130	185	316	437	506	511	452	335	180	41
<b>JV</b>	41	180	335	452	511	506	437	316	185	130	117	100	78	53	24
<b>SV</b>	85	287	361	321	217	135	139	141	139	130	117	100	78	53	24
<b>SZ</b>	24	53	78	100	117	130	139	141	139	135	217	321	361	287	85

Tabulka intenzity sluneční radiace procházející jednoduchým standardním oknem s ocelovým rámem při průměrném znečištění atmosféry pro  $50 \text{ ° s. š.}$  - přejato z normy ČSN 73 0548

## 4.2. Výpočet

### 1.NP

#### Řešení m. č. 1.56

#### Tepelné zisky okny

Výpočet velikosti osluněné části okna

$$\begin{aligned}
 S_{OS} &= [l_a - (e_1 - f)] * [l_b - (e_2 - g)] \\
 &= [1,9 - ((0,1 * \tan(|229 - 246|)) - 0)] * \\
 &\quad * \left[ 1,75 - \left( \left( 0,1 * \left( \frac{\tan 52}{\cos(|229 - 246|)} \right) \right) - 0 \right) \right] = 3,02 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tepelný zisk sluneční radiací pro okno:

$$\begin{aligned}
 Q_{or} &= [S_{os} * I_o * c_o + (S_o - S_{os}) * I_o \text{ dif}] * s \\
 &= [3,02 * 506 * 0,85 + (3,7 - 3,02) * 130] * 0,58 = 804,86 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Tepelné zisky okna konvekcí:

$$Q_{ok} = S_{ok} * U_o * (t_e - t_i) = 3,7 * 1,4 * (32 - 25) = 36,26 \text{ W}$$

Celková tepelná zátěž oknem:

$$Q_o = Q_{or} + Q_{ok} = 805 + 36 = 841 \text{ W} \quad (\text{bez vlivu kolísání teplot})$$

#### Tepelné zátěž vnějších stěn

Stěna středně těžká - jihozápadní:

$$\begin{aligned}
 Q_s &= U_s * S * [(t_{rm} - t_i) + m * (t_{r\psi} - t_{rm})] \\
 &= 0,38 * (6,05 * 3,4 - 2,0 * 1,85) * [(30,2 - 25) + 0,14 * (18,1 - 30,2)] \\
 &= 23 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Stěna středně těžká - severozápadní:

$$Q_s = U_s * S * [(t_{rm} - t_i) + m * (t_{r\psi} - t_{rm})] = 0,38 * (11,6 * 3,4) * [(27,8 - 25) + 0,14 * (16 - 27,8)] = 17 \text{ W}$$

#### Tepelná zátěž vnitřních stěn

$$Q_{si} = U_s * S * (t_{io} - t_i) = 0 \quad (\text{v okolních místnostech je navržena stejná teplota 25 °C})$$

### Produkce tepla od lidí a pokrmů

Lidé – zasedací místnost – 6 osob

$$Q_l = n_l * q/10 * (36 - t_i) = 6 * 6,8 * (36 - 25) = 449 \text{ W}$$

### Tepelná produkce svítidel

V době výpočtu se nesvíí.

### Závěr po zaokrouhlení výsledků

Tepelné zisky oken  $Q_{ok} = 841 \text{ W}$

Tepelná zátěž vnějších stěn  $Q_s = 40 \text{ W}$

Tepelná produkce lidí  $Q_l = 449 \text{ W}$

Celková tepelná zátěž  $Q_L = 1\,330 \text{ W}$

### Výsledky:

<u>1.NP</u>	[W]
Celkové tepelné zisky oken	16 606
Celková tepelná zátěž vnějších stěn	408
JZ	50
JV	295
SV	46
SZ	17
Celková tepelná produkce osob	3 293
Celková tepelná zátěž na podlaží	20 307

<u>2.NP</u>	[W]
Celkové tepelné zisky oken	17 027
Celková tepelná zátěž vnějších stěn	429
JZ	50
JV	305
SV	49
SZ	26
Celková tepelná produkce osob	3 442
Celková tepelná zátěž na podlaží	20 898

<u>3.NP</u>	[W]
Celkové tepelné zisky oken	17 027
Celková tepelná zátěž vnějších stěn	429
JZ	50
JV	305
SV	49
SZ	26
Celková tepelná produkce osob	3 442
Celková tepelná zátěž na podlaží	20 898

<u>4.NP</u>	[W]
Celkové tepelné zisky oken	17 027
Celková tepelná zátěž vnějších stěn	429
JZ	50
JV	305
SV	49
SZ	26
Celková tepelná produkce osob	3 442
Celková tepelná zátěž na podlaží	20 898

5.NP	[W]
Celkové tepelné zisky oken	17 027
Celková tepelná zátěž vnějších stěn	429
JZ	50
JV	305
SV	49
SZ	26
Celková tepelná produkce osob	3 442
Celková tepelná zátěž střechy	997
Celková tepelná zátěž na podlaží	21 895

Budova	[kW]
Celkové tepelné zisky oken	84,71
Celková tepelná zátěž vnějších stěn	2,12
JZ	0,25
JV	1,52
SV	0,24
SZ	0,12
Celková tepelná produkce osob	17,06
Celková tepelná zátěž střechy	1,00
Celková tepelná zátěž budovy	104,9

### 4.3. Návrh systému chlazení a vytápění

#### Volba jednotného systému VRV pro vytápění a chlazení

Venkovní jednotka v sestavě DAIKIN VRV IV+ Tepelné čerpadlo bez nepřetržitého vytápění – vícemodulová kombinace (RXYQ10U, RXYQ12U, RXYQ18U, BHFQ22P1517)

Nominální chladicí výkon:	111,5 kW
Nominální topný výkon:	125,0 kW
Cena sady:	1 309 805,- Kč
Montáž:	18 000,- Kč

Vnitřní jednotka Daikin FXAQ15A

Chladicí výkon:	1,7 kW
Topný výkon:	1,9 kW
Cena:	22 556,- Kč
Počet jednotek:	100 ks
Celková cena jednotek:	2 255 600,- Kč
Montáž všech jednotek:	280 000,- Kč

Délka potrubí:	984 m
Odpadní (kondenzát):	420 m
Cena montáže potrubí:	649 440,- Kč

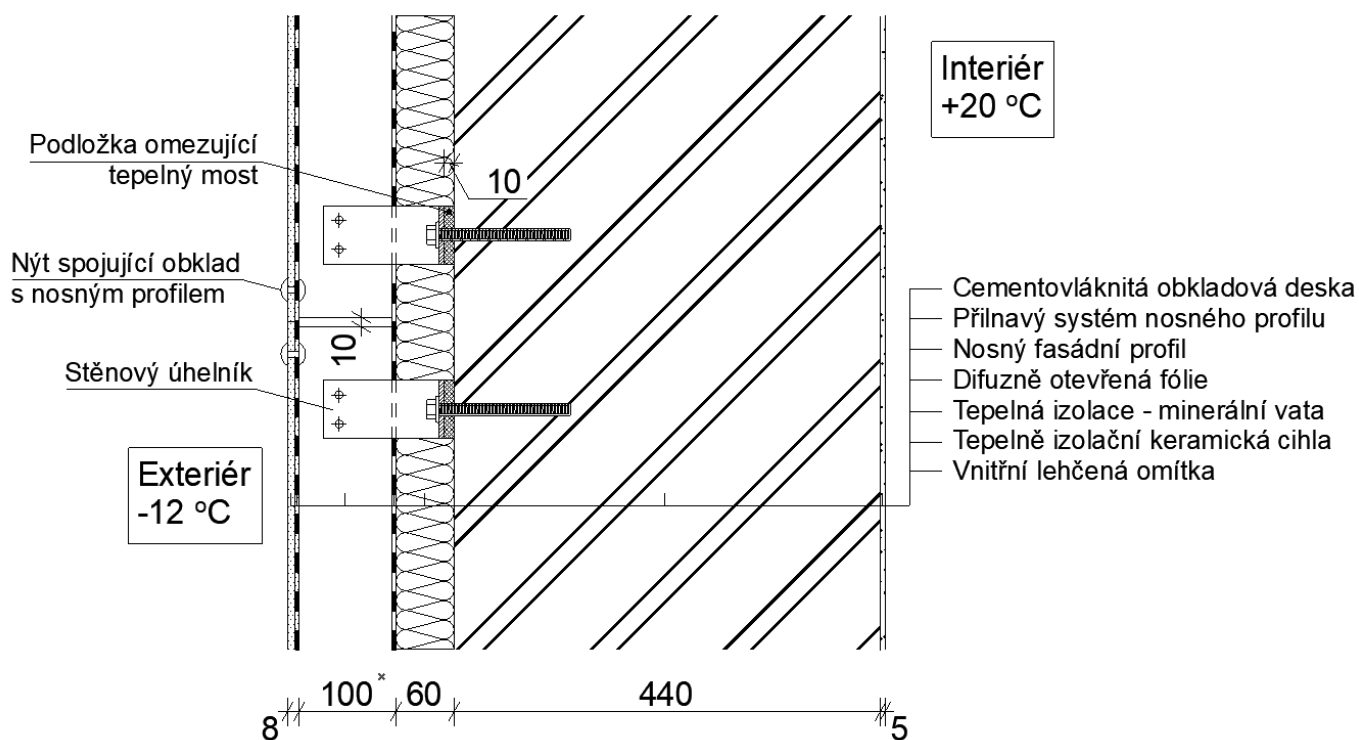
**Odhadovaná cena realizace\*:** **4 512 845,- Kč bez DPH**

\*Ceník výrobků Daikin a soukromé montážní firmy s průměrnými cenami montáže

Schematický výkres zařízení v 1. NP a v typickém patře je přiložen v příloze F.

#### 4.4. Systém větrané fasády

Parametry fasády jsou v bodě 2.2. Obvodová konstrukce sestává ze skladeb vycházejících z návrhu ETICS (bod 3.3.).



Obr. 61 – detail řezu obvodové zdi s navrženým systémem větrané fasády

## Výsledky

Výpočty zpracovány podle ČSN EN ISO 10211.

Tepelný odpor konstrukce	3.92	$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
Součinitel prostupu tepla bez kotev	0.245	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Součinitel prostupu tepla s kotvami do PENB	0.28	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Zhoršení s tepelnými mosty	14.6	%
Celková měrná tepelná ztráta prostupem	22.4	$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$
Celková tepelná ztráta prostupem	717.96	W

Posouzení součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2:2011:

Součinitel prostupu tepla s kotvami  $0,280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  vyhovuje požadované hodnotě z normy.

Požadovaná hodnota:  $0,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$     Doporučená hodnota:  $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

*Obr. 62 – výpočet součinitele prostupu tepla větrané fasády podle ČSN EN ISO 10211,  $U = 0,280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , výstupní hodnoty ze softwaru FSVM 2.0*

**Orientační cena realizace fasády vč. práce[46]:                      9 720 000,- Kč bez DPH**

**Odhadovaná cena chytré fasády vč. práce:                      10 000 000,- Kč bez DPH**

## 5. Vyhodnocení

Pro vyhodnocení výsledků návrhu byl použitý software FSVM 2.0. Tento program důmyslně počítá možné ztráty i zisky navržené skladby s ohledem na lokaci, orientaci slunce, orientaci fasády, počítá také s možnými slunečními zisky v zimě, s kolísáním teplot v interiéru a mnohými dalšími proměnnými přibližující návrh ke skutečnosti.

### 5.1. Poloha klapek chytré fasády

Software počítá s nastavením klapek pro systém chytré fasády, která má za cíl regulovat pohyb vzduchu ve větrané mezeře. Nastavení polohy klapek lze regulovat s možností otevřená/zavřená po jednotlivých měsících. Předvolené nastavení nám naznačuje, že se počítá s uzavřenými klapkami v zimním období, kdy se pro omezení tepelných ztrát omezí i proudění vzduchu v mezeře.

Větraná fasáda a skladba ETICS byly navrženy pro názornou ukázkou funkce chytré fasády velmi atypicky z tepelně technického hlediska. Výpočet nám tedy řekne, že by daná skladba za daných okrajových podmínek byla v průběhu roku efektivnější jako pouhé kontaktní zateplení. Následující hodnoty byly brány pro nejvýznamnější – JV část fasády. Ve skutečnosti, v případě modernizace objektu nebo realizace podobného projektu, by se uvažovala daleko reálnější a efektivnější skladba jak pro ETICS tak pro větranou fasádu.

Měsíc	ETICS [kWh/měsíc]	Větraná fasáda [kWh/měsíc]	Chytrá fasáda s větranou mezerou [kWh/měsíc]	Vyjádření snížení tepelného toku chytrou fasádou
1	-5219.16	-6093.88	-1805.47	70.37%
2	-2893.14	-3841.16	-447.42	88.35%
3	-883.31	-1104.69	8028.17	826.73%
4	-89.13	-437.46	-437.46	0.00%
5	429.67	-288.65	-288.65	0.00%
6	895.86	1175.29	1175.29	0.00%
7	1625.39	1836.35	1836.35	0.00%
8	2373.23	2809.46	2809.46	0.00%
9	1942.93	2709.72	2709.72	0.00%
10	-15.70	-300.07	5318.25	1872.34%
11	-1875.93	-2316.86	2198.54	194.89%
12	-4784.90	-5503.11	-3362.45	38.90%

Obr. 63 – porovnání vypočítaných celkových hodnot tepelných toků pro uvažovaný typ fasády s předvoleným nastavením polohy klapek

Z obr. 63 plyne, že zavřené klapky chytré fasády ve třetím a desátém měsíci by již znamenaly relativně vysoký tepelný tok fasády, nejspíš kvůli slunečním ziskům, a tím pádem i vyšší potřebu energie pro chlazení. Rozhodl jsem se pro tyto dva měsíce klapky otevřít a podívat se na výsledky.

Měsíc	ETICS [kWh/měsíc]	Větraná fasáda [kWh/měsíc]	Chytrá fasáda s větranou mezerou [kWh/měsíc]	Vyjádření snížení tepelného toku chytrou fasádou
1	-5219.16	-6093.88	-1805.47	70.37%
2	-2893.14	-3841.16	-447.42	88.35%
3	-883.31	-1104.69	-1104.69	0.00%
4	-89.13	-437.46	-437.46	0.00%
5	429.67	-288.65	-288.65	0.00%
6	895.86	1175.29	1175.29	0.00%
7	1625.39	1836.35	1836.35	0.00%
8	2373.23	2809.46	2809.46	0.00%
9	1942.93	2709.72	2709.72	0.00%
10	-15.70	-300.07	-300.07	0.00%
11	-1875.93	-2316.86	2198.54	194.89%
12	-4784.90	-5503.11	-3362.45	38.90%

Obr. 64 – porovnání vypočítaných celkových hodnot tepelných toků pro uvažovaný typ fasády se změněným nastavením polohy klapek

Nové nastavení klapek znamená pro fasádu výrazně menší absolutní hodnotu tepelných toků. Bude sice tentokrát potřeba trochu energie pro vytápění v těchto měsících, celková úspora primární energie ale bude výrazná i při různých hodnotách topného a chladícího faktoru (ne příliš moc různých).

## 5.2.Potřeba energie fasád

**Budova bez zateplení:**

Měsíc	Stěna kWh/měs.
1	-13401
2	-7770
3	-3173
4	-874
5	750
6	2058
7	3754
8	5242
9	3828
10	-852
11	-5274
12	-12003

**Budova bez zateplen**

Měsíc	Stěna MWh/rok
1	-161
2	-93
3	-38
4	-10
5	9
6	25
7	45
8	63
9	46
10	-10
11	-63
12	-144
<b>Celkem:</b>	<b>708</b>

**Budova s ETICS:**

Měsíc	ETICS kWh/měs.
1	-8617
2	-4996
3	-2041
4	-562
5	482
6	1325
7	2414
8	3371
9	2461
10	-548
11	-3392
12	-7719

**Budova s ETICS:**

Měsíc	ETICS MWh/rok
1	-103
2	-60
3	-24
4	-7
5	6
6	16
7	29
8	40
9	30
10	-7
11	-41
12	-93
<b>Celkem:</b>	<b>455</b>

**Budova s větranou fasádou:**

Měsíc	V. fasáda kWh/měs.
1	-10004
2	-6356
3	-2486
4	-1108
5	-574
6	1739
7	2712
8	3974
9	3449
10	-971
11	-4090
12	-8864

**Budova s větranou fasádou:**

Měsíc	V. fasáda MWh/rok
1	-120
2	-76
3	-30
4	-13
5	-7
6	21
7	33
8	48
9	41
10	-12
11	-49
12	-106
<b>Celkem:</b>	<b>556</b>

**Budova s chytrou fasádou:**

Měsíc	Chytrá f. kWh/měs.
1	-4989
2	-2309
3	-2486
4	-1108
5	-574
6	1739
7	2712
8	3974
9	3449
10	-971
11	1205
12	-6374

**Budova s chytrou fasádou:**

Měsíc	Chytrá f. MWh/rok
1	-60
2	-28
3	-30
4	-13
5	-7
6	21
7	33
8	48
9	41
10	-12
11	14
12	-76
<b>Celkem:</b>	<b>383</b>

### 5.3. Ekonomické zhodnocení

Osobní odhad ceny elektrické energie pro rok 2023: 7,5 Kč/kWh  
 (tržní cena ke dni 11. 1. 2023 – 4,365 Kč/kWh)

Celkový tok tepelné energie

Celkový tepelný tok	Roční [MWh/rok]	Tepelné ztráty [kW]	Tepelný zisk [kW]
ETICS	455	38,68	13,27
Větraná fasáda	556	47,80	16,44
Chytrá fasáda	383	26,16	18,17

Pořizovací cena systému včetně příslušného návrhu topení a chlazení systémem VRV pro každý fasádní systém zvlášť (menší energetická náročnost – menší systém VRV)

Pořizovací cena [Kč]	Konstrukce	VRV systém	Celkem
ETICS	5 572 800	3 634 553	9 207 353
Větraná fasáda	9 720 000	3 797 008	13 517 008
Chytrá fasáda	10 000 000	3 508 069	13 508 069

Topný a chladicí faktor příslušných VRV systémů

	VRV pro		
	ETICS	FASADA	CHYTRA
chlazení	7,700	7,600	8,400
topení	6,300	6,000	6,800

Cena provozu fasádních systémů za rok

<u>Cena provozu [Kč/rok]</u>	<u>Topení</u>	<u>Chlazení</u>	<u>Celkem</u>
<b>ETICS</b>	397 619	117 857	515 476
<b>Větraná fasáda</b>	516 250	140 132	656 382
<b>Chytrá fasáda</b>	249 265	140 179	389 443

Ušetřená elektrická energie

<u>Ušetřená elektrická energie</u>	<u>Teplo [kWh/rok]</u>	<u>Chlad [kWh/rok]</u>	<u>[Kč/rok]</u>
<b>ETICS</b>	29 524	8 701	286 688
<b>Větraná fasáda</b>	17 833	6 053	179 145
<b>Chytrá fasáda</b>	43 235	3 690	351 943

### Návratnost investice

Prostá návratnost

<u>Návratnost investice</u>	<u>Pořízení [Kč]</u>	<u>Úspora [Kč/rok]</u>	<u>Návratnost [rok]</u>
<b>ETICS</b>	9 207 353	286 688	32
<b>Větraná fasáda</b>	13 517 008	179 145	75
<b>Chytrá fasáda</b>	13 508 069	351 943	38

## 6. Závěr

Software FSVM 2.0 se prokázal jako zkušený pomocník při řešení dané problematiky a velmi urychlil jinak komplikované a časově náročné výpočty. Bohužel, na zadanou budovu se neprokázalo použití systémů těsně splňující normativní kritéria součinitele prostupu tepla na svislé konstrukce. Prostá návratnost investic přesahuje životnost systému 30 let a navržená větraná fasáda na obdobný systém ETICS se dokonce prokázala jako méně efektivní řešení oproti kontaktnímu zateplení. Na doporučenou budovu se nejví žádá z těchto tří variant jako vhodná pro realizaci.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

## ČÁST C – EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ FASÁDY

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Radek Salajka**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.**

**BRNO 2022**

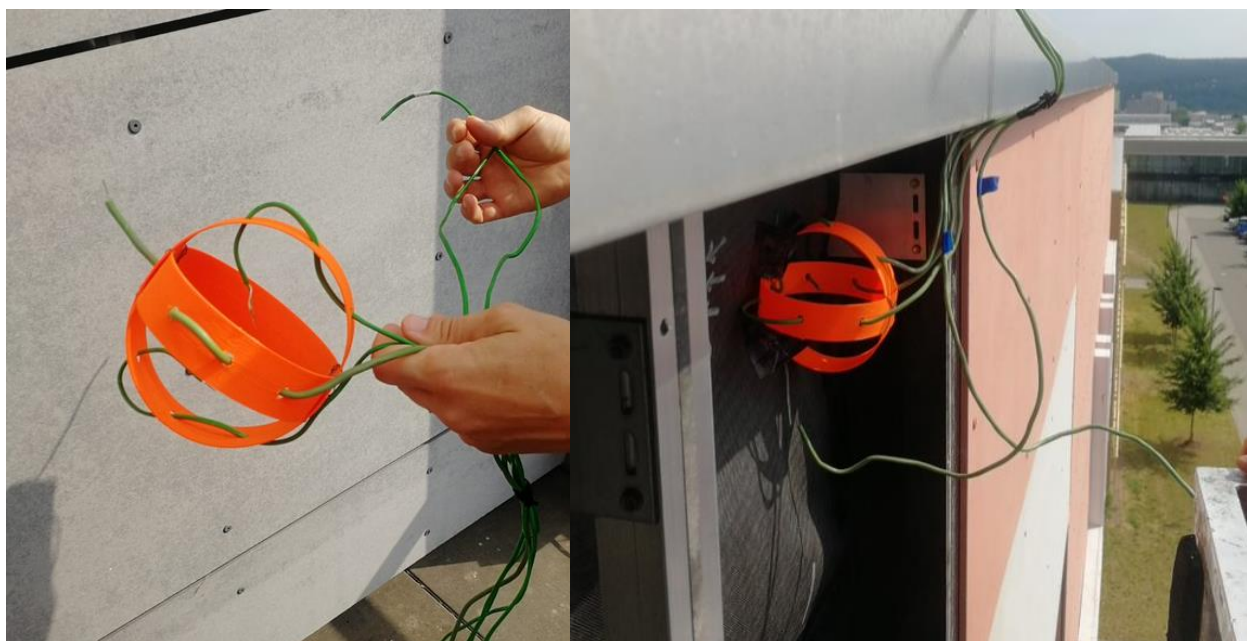
## C. Experimentální část – dílčí úkol

### 1. Úvod

Výzkumný tým skládající se ze spousty členů vymyslel a nainstaloval důmyslný systém, který měří ve vícero kontrolních bodech na různých částech větrané fasády budovy JIC v Brně hodnoty fyzikálních veličin pomocí měřících čidel a centrální měřicí stanice pro sběr dat. Šlo o čidla měřící teploty, rychlosti proudění vzduchu, intenzitu sluneční radiace nebo relativní vlhkost. A to jak uvnitř fasády tak z její vnější strany. Dostali jsme tedy i hodnoty veličin okolního prostředí (exteriéru). Tímto způsobem jsme se mohli následně opřít o skutečná data, která nám poskytla základní kámen pro popis chování fyzikálních jevů přítomných na větrané fasádě, v její mezeře s proudícím vzduchem a vliv okolního prostředí na chování této fasády a vzduchu v ní. Mým úkolem ve výzkumu bylo zpracování této spousty dat do formy, ze které by se daly čerpat praktické informace, případně vizualizace těchto informací v podobě grafických výstupů.

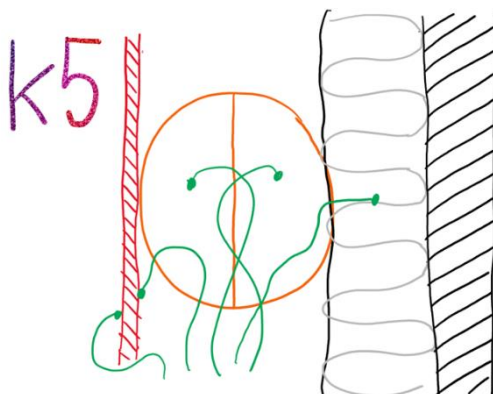
#### 1.1. Získávání dat

Tým představil skutečný model měřícího kontrolního bodu, který byl použitý v mezeře větrané fasády (obr. 1). Byla to vlastně malá plastová konstrukce, vytvořená na půdě VUT FAST, ústavu TZB, která držela měřící čidla v poloze, v jaké jsme je potřebovali mít. Tato potřeba byla interpretována schématem (obr.2).



Obr. 1 – plastový držák a jeho umístění uvnitř fasády,  
zdroj: fotodokumentace výzkumného týmu

Motivem pro vytvoření tohoto držáku byla myšlenka změřit na jednom kontrolním bodu fasády vícero míst – až 6, a to teploty na povrchu obkladu a to jak vnějším tak vnitřním, ve vzduchové mezeře (1 až 2 teplotní čidla), teplotu uvnitř tepelné izolace a rychlost proudění vzduchu v mezeře. Pro tyto účely bylo potřeba zajistit stabilní polohu měřicích čidel v určité poloze, která byla dosažena za pomoci tohoto plastového držáku.

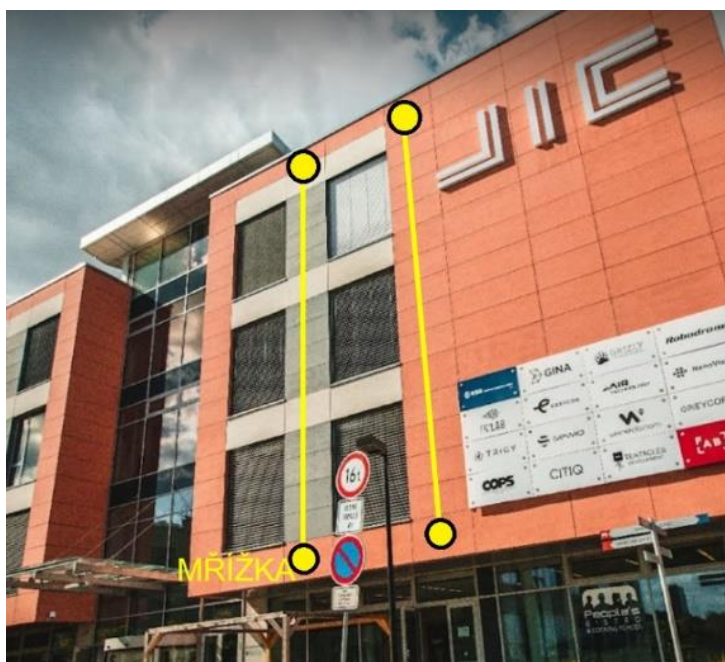


*Obr. 2 – schematický řez větranou fasádou popisující polohy pěti měřicích čidel v kontrolním bodě k5 (horní fasáda) [47]*

Tímto způsobem jsme mohli docílit získání dostatečného počtu dat pro další zpracování. Montážní skupina nainstalovala čidla na kontrolní body na předem určená místa větrané fasády a další pyranometry na střeše. Ty měří meteorologické podmínky v reálném čase spolu s ostatními čidly. Všechny kontrolní body byly přes kabely napojené do centrálního měřicího přístroje, který pro nás sbíral digitální data, než mohly být pověřeným pracovníkem odebrána a uložena pro další zpracování.

Na této budově jsme podle umístění kontrolních bodů rozlišovali horní a spodní fasádu. Spodní fasáda byla větší, začínala od 2. nadzemního podlaží a končila na střeše objektu a obkladové desky měly oranžovou barvu. Výška fasády byla 14 metrů. Horní fasáda se nacházela na malé přístavbě na střeše a byla podstatně menší. Barva obkladového materiálu byla šedá, tudíž měla trochu jiný součinitel světelné pohltivosti. O této veličině se budu bavit dále. Obě fasády byly orientovány na jihovýchod. V této experimentální části se budu věnovat té významnější a větší spodní fasádě.

Schematický obrázek (obr. 3) vypovídá o umístění kontrolních bodů s měřicími čidly na spodní části objektu. Dva kontrolní body byly nainstalovány ve spodní části fasády a dva body v horní části fasády. Panuje zde předpoklad zjištění různých hodnot měřených fyzikálních veličin mezi dolní a horní částí fasády. Opíráme se mimo jiné o předpoklad vzniku běžného jevu, kterému říkáme komínový efekt. Jeho přítomnost lze dokázat ve vyhodnocení naměřených údajů.



Obr. 3 – schéma umístění použitých měřicích čidel na spodní (oranžové) fasádě,  
zdroj: fotodokumentace výzkumného týmu

## 1.2. Zpracování dat

Po odebrání dat z měřicích stanic vznikla spousta trochu chaoticky tříděných dat. Abychom s nimi mohli mnohem jednodušeji a efektivněji pracovat, vytvořil doktor Blasinski ve spolupráci s ostatními členy týmu software, který tyto data třídil na samostatné hodnoty pro odpovídající kategorie a vytvořil také nástroje pro jejich jednodušší zobrazení, a to jak grafické tak textové, výpočty a další užitečné práce s daty. Přístup k tomuto softwaru měli pouze pověřeni členové týmu a usnadnil nám velkou spoustu práce. Jenom za půl roku jsme pouhým měřením nasbírali zhruba 1,6 milionu čistých dat, které popisovaly hodnoty fyzikálních veličin, především teploty.

Mou prací ve výzkumu bylo zpracovat získaná data za pomoci tohoto softwaru a pomoci vytvořit soubor informací, který by vedl k rozšíření poznatků o tom, co se ve větrané fasádě děje, s jakými fyzikálními jevy můžeme počítat a jestli bychom mohli s určitou přesností tyto jevy předpovědět na základě jednoduchých okrajových podmínek.

## 1.3. Úkoly

Prvním úkolem bylo zjistit aproximací hodnoty dvou neznámých veličin pro výpočetní vztah počítající povrchovou teplotu tak, aby se výpočet co nejvíce přiblížil skutečnosti a zda je tento postup možný. Výpočetní vztah zahrnuje okrajové podmínky – intenzitu sluneční radiace  $I$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] a teplotu venkovního vzduchu  $t_e$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], hodnoty zjišťované aproximací – součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu fasády  $\alpha$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ] a součinitel

světelné pohltivosti materiálu  $\epsilon$  [-]. Výsledkem tohoto vztahu je povrchová teplota  $t_p$  [°C], která se musí co nejpřesněji shodovat s našimi naměřenými hodnotami povrchových teplot na vnější straně obkladu fasády.

$$t_p = t_e + \frac{I * \epsilon}{\alpha}$$

$\alpha$  nám, velmi zjednodušeně řečeno, popisuje hodnoty vlivu počasí na mezní vrstvu mezi venkovním prostředím a vnějším povrchem obkladu fasády. Zahrnuje v sobě vliv větru, venkovní teploty, intenzity sluneční radiace, vlhkosti vzduchu a kombinace těchto či různých dalších vlivů. Vzhledem k tolika faktorům, které na ni mají vliv, je to velmi proměnlivá hodnota.

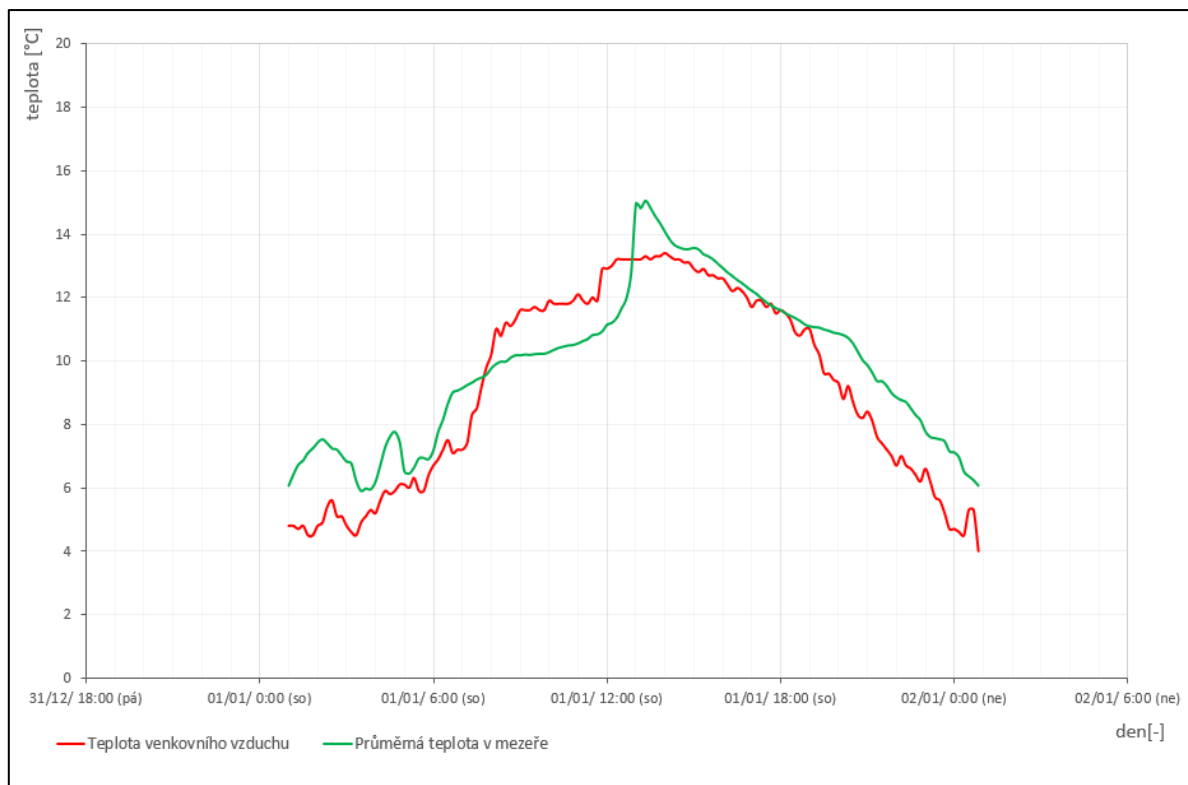
$\epsilon$  popisuje vlastnost materiálu obkladní desky, konkrétněji jak dokáže tento materiál absorbovat sluneční záření a proměnit jej v tepelnou energii. Je to citlivá hodnota, která závisí na barvě materiálu a drsnosti jeho povrchu, což představuje pozorování na úrovni mikrometrů. Jelikož tuto hodnotu nemáme k dispozici od výrobce a vzhledem k její citlivosti by se obtížně získávala i samotným výrobcem, rozhodli jsme se ji aproximovat taktéž.

Proměnlivost či citlivost těchto veličin vyžadovala dlouhé a pečlivé aproximování a krátké kroky. To obsahovalo neprakticky velikou spoustu dat, proto jsem se rozhodl postupně zvětšovat kroky aproximace, dokud jsem z přesnějšího výsledku nedostal jednu reprezentativní hodnotu  $\alpha$  a jednu reprezentativní hodnotu  $\epsilon$  pro jeden kalendářní měsíc, tedy 24 hodnot pro celý rok, což byl požadavek na moji úlohu. Následně se tyto hodnoty zahrnuly ve výpočetním softwaru „FSVM software 2.0“ počítající tepelně technické parametry fasády s větranou mezerou, který používám v praktické části. Podrobněji o aproximaci v bodě 2.4.

V další kapitole „Výsledky“ prezentuji některé svoje postupy, práci s daty, výsledné informace a speciální případy, se kterými jsem se setkal a stojí za zmínku.

## 2. Výsledky

### 2.1. Porovnání teploty venkovního vzduchu a teploty vzduchu v mezeře



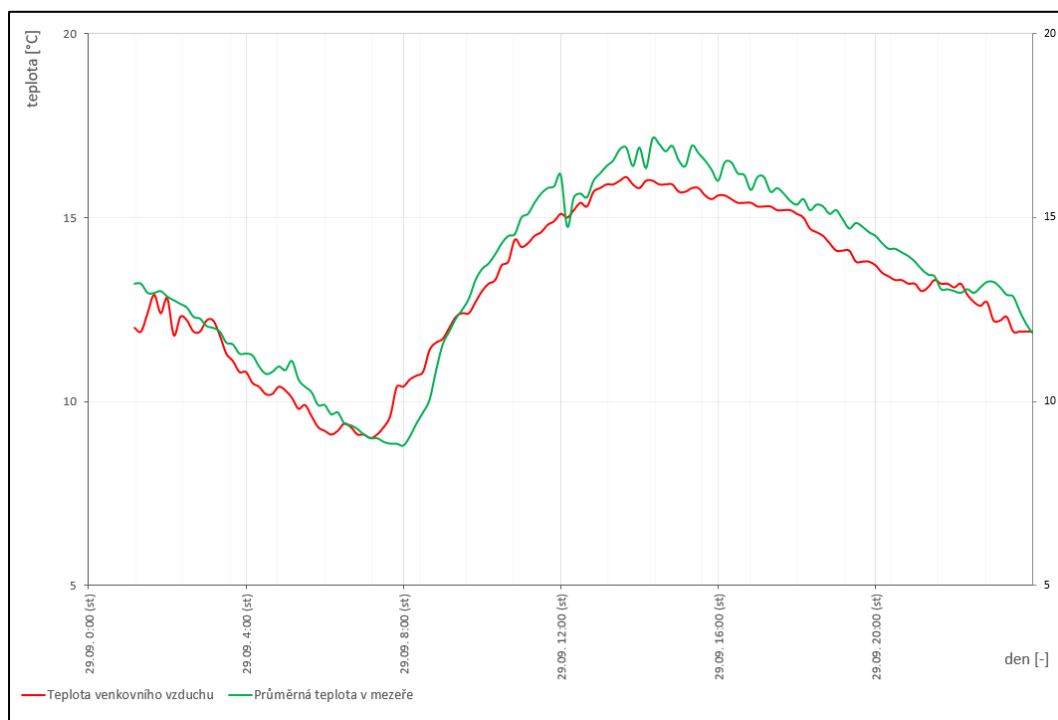
Obr. 4 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 1. 1. 2022

Graf zobrazuje porovnání teploty venkovního vzduchu s průměrnou teplotou ve vzduchové mezeře fasády. Průměrná hodnota byla vypočítaná jako aritmetický průměr teplot ze všech 4 čidel na spodní (oranžové) fasádě (dále jen „spodní fasáda“). Referenční den je zde 1. 1. 2022.

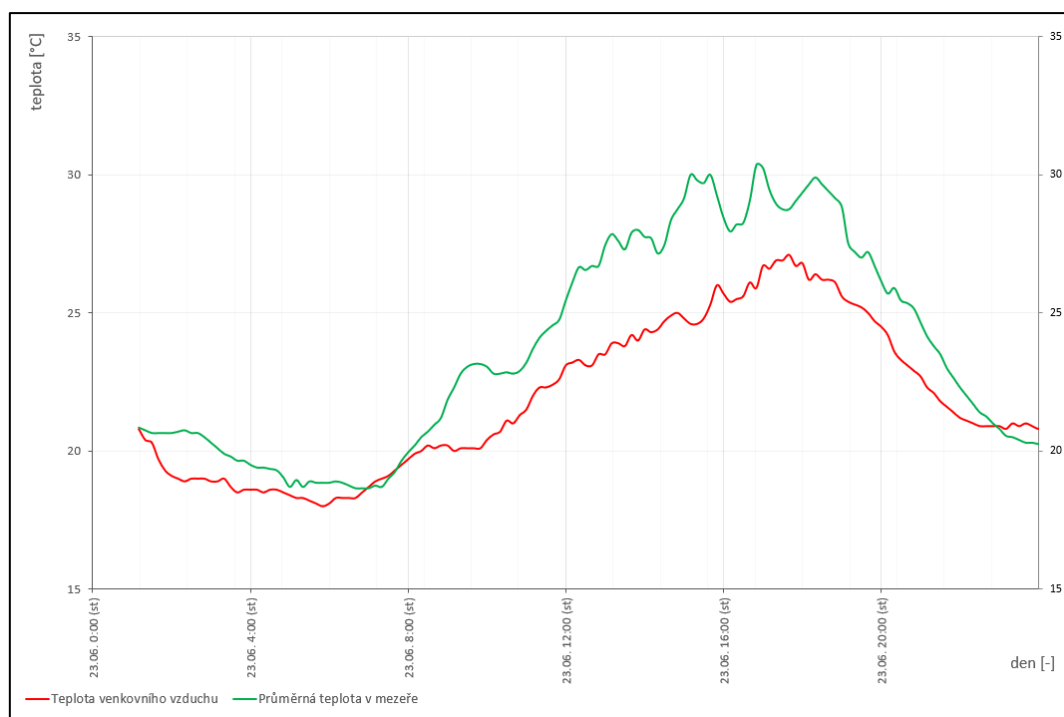
Teplota ve vzduchové mezeře je podle (i ostatních) dat méně kolísavá než venkovní teplota. Dalo by se to vysvětlit tím, že vzduch v mezeře je z větší části uzavřen stavebními materiály s určitou tepelně akumulací a odolností vůči povětrnostním vlivům. A to i přes samotné proudění vzduchu v mezeře rozdílem hustoty vzduchu v dolní a horní části fasády – komínový efekt (dále v bodě 2.3.). Vzduch v mezeře také získává malé množství tepelné energie z vytápěných prostor interiéru. Protože je ale objekt dostatečně tepelně izolovaný, tepelné ztráty interiéru (zisky z pohledu fasády) jsou relativně malé. Nelze říct, že by snad tímto způsobem byl vzduch v mezeře „vytápěn“. Předpokládáme, že v nejnižším bodě fasády, kde je vzduch do větrané mezery nasáván, má tento vzduch stejné vlastnosti jako vzduch venkovní, obzvláště teplotu.

Pokud bereme v potaz vliv venkovní teploty na teplotu v mezeře, lze z grafu odečíst, že v nočních až brzkých ranních hodinách má vzduch v mezeře větší potenciál se ochlazovat působením vnějšího chladnějšího vzduchu, ať už přímo (proudění v mezeře) či nepřímo (sálavý podíl povrchu obkladu). Přes den, kdy hlavně působí sluneční radiace, je teplota exteriéru větší než teplota vzduchu ve vzduchové mezeře fasády (vyšší míra

kolísání teplot než v mezeře) a tím pádem má vzduch v mezeře větší potenciál se ohřát. Tyto dvě teploty se ale očividně snaží dosáhnout energetické rovnováhy. Pokud z přirozených meteorologických důvodů roste teplota venkovního vzduchu, roste teplota vzduchu i ve větrané mezeře. Míru ochlazování či ohřívání vzduchu v mezeře určuje rozdíl teploty v exteriéru a teploty v mezeře. Tento jev lze takto popsat v době, kdy působení sluneční radiace je nepatrné nebo skoro žádné/žádné!



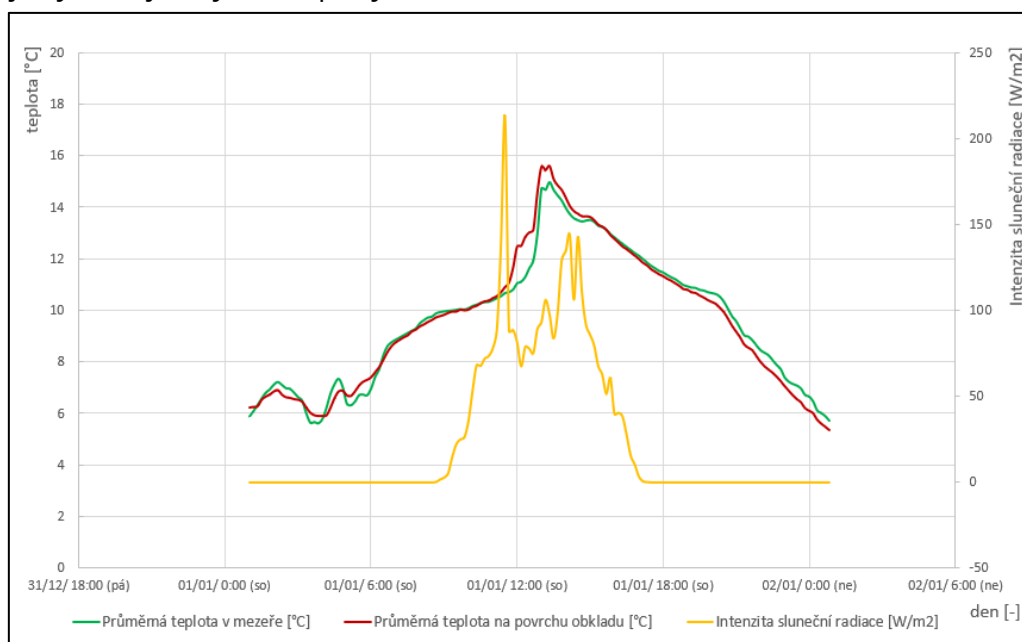
Obr. 5 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 29. 9. 2021



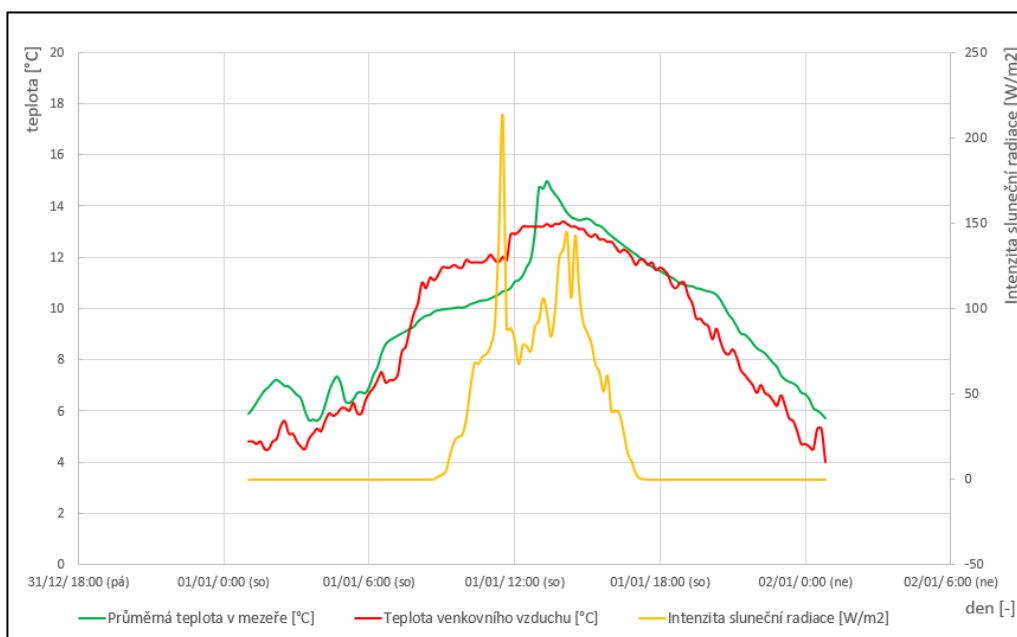
Obr. 6 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 23. 6. 2021

## 2.2. Porovnání intenzity sluneční radiace, teploty na vnějším povrchu fasádního obkladu a teploty vzduchu v mezeře

Daleko větší vliv na nárůst teploty vzduchu v mezeře má vliv sluneční radiace. Slunce, jehož paprsky dopadají na povrch vnější konstrukce větrané fasády (obkladu), tímto způsobem zvyšuje jeho povrchovou teplotu. Nárůst teploty na povrchu fasády je přímo úměrný intenzitě sluneční radiace dopadající na tento povrch. Následně se z obkladu stává jakýsi sálavý otopný prvek, který ohřívá vzduch v mezeře. Tento jev je dostatečně silný na to, abychom mu věnovali zvláštní pozornost a z dostupných dat mohli říct, že způsobuje výraznější zvýšení teploty vzduchu v mezeře.



Obr. 7 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 1. 1. 2022



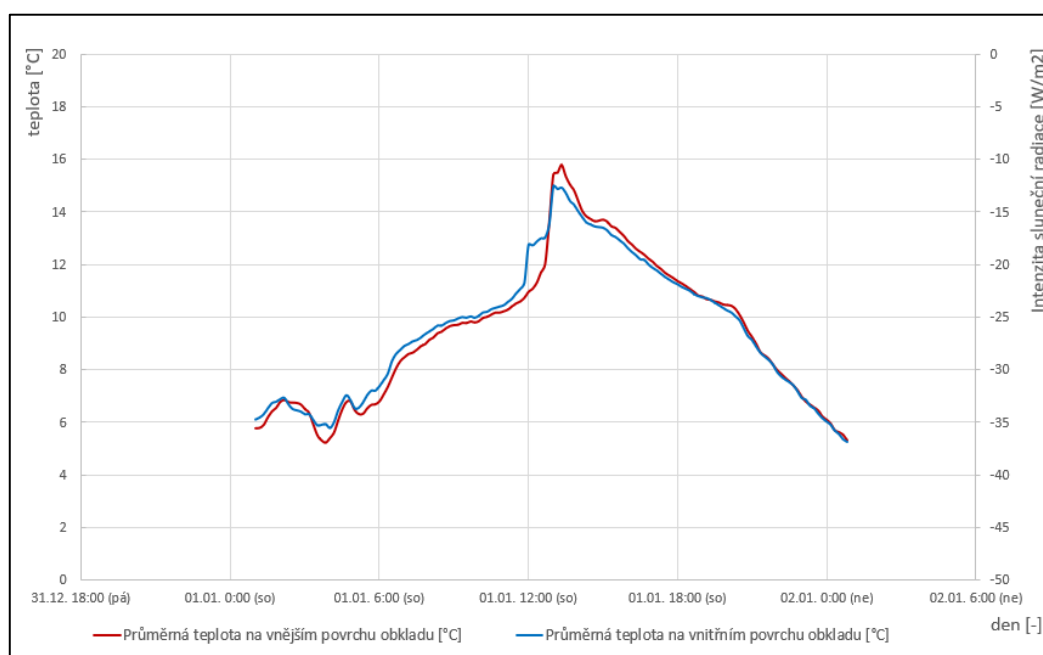
Obr. 8 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 1. 1. 2022

V grafu je dobře vidět vliv sluneční radiace na jednotlivě zobrazené teploty. Kolísání intenzity sluneční radiace je dáno především oblačností. Měřicí pyranometr byl umístěn tak, aby nebyl zastíněn. Zhruba v 11:00 lze pozorovat vyšší intenzitu slunečního svitu. Tento jev způsobil ohřev venkovního vzduchu a zároveň byla sluneční radiace dostatečně silná na to, aby ohřála povrch obkladu až o 5 K z necelých 11 °C na necelých 16 °C.

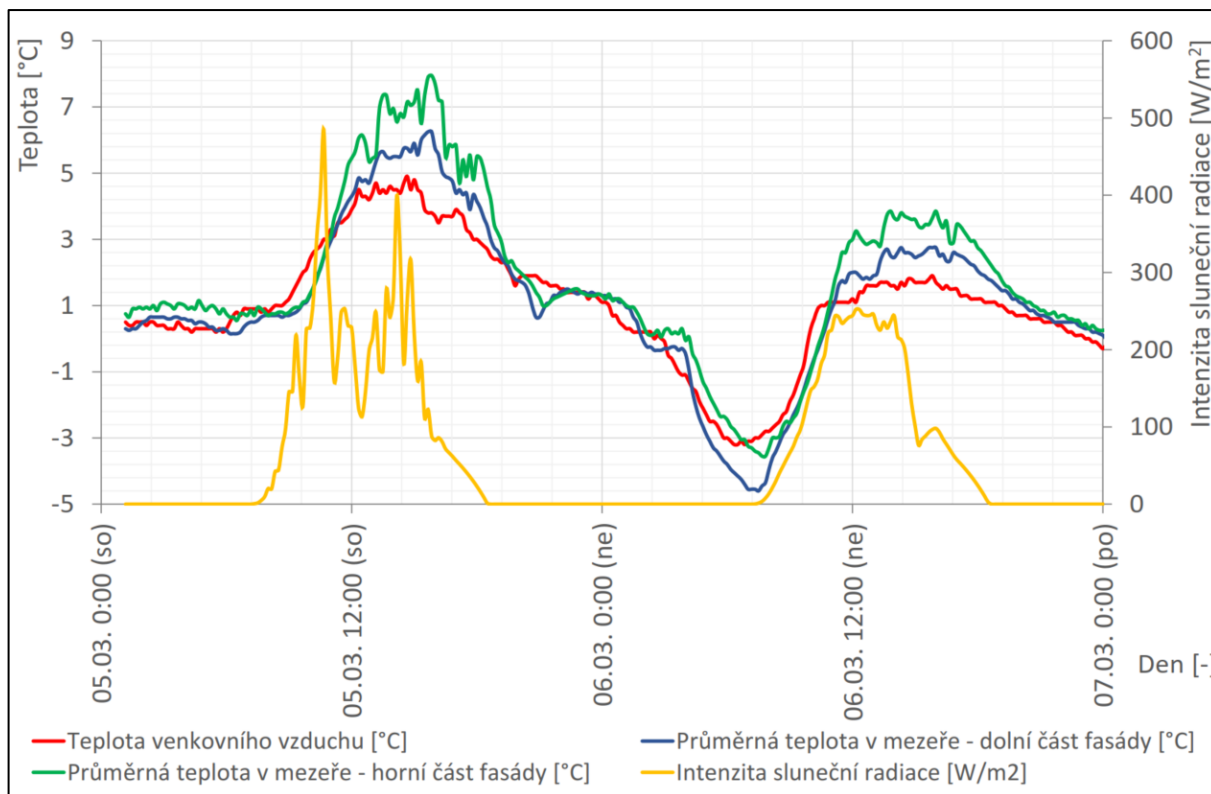
Dále můžeme vidět chování teploty povrchu po odeznění slunečního svitu. Obklad se působením povětrnostních vlivů a chladnějšího venkovního vzduchu začne ochlazovat. Jeho povrchová teplota klesá z maxima posuzovaného dne. Sluneční radiace v ten den již nezaznamenala vyšší intenzitu.

Ve 13:00 zkoumaného dne se teplota vzduchu v mezeře dostane nad hodnotu teploty vzduchu v exteriéru, zejména kvůli ohřátí povrchu obkladu sluncem. Následující graf zobrazuje naměřená data o teplotách na vnějším a vnitřním povrchu obkladu větrané fasády v průběhu dne. Vlivem akumulace a ochrany před povětrnostními vlivy je teplota na vnitřní straně obkladu o něco vyšší než na vnějším povrchu. Tento jev pořád platí i přes fakt, že už zhruba od 8:00 je teplota v exteriéru vyšší než teplota v mezeře.

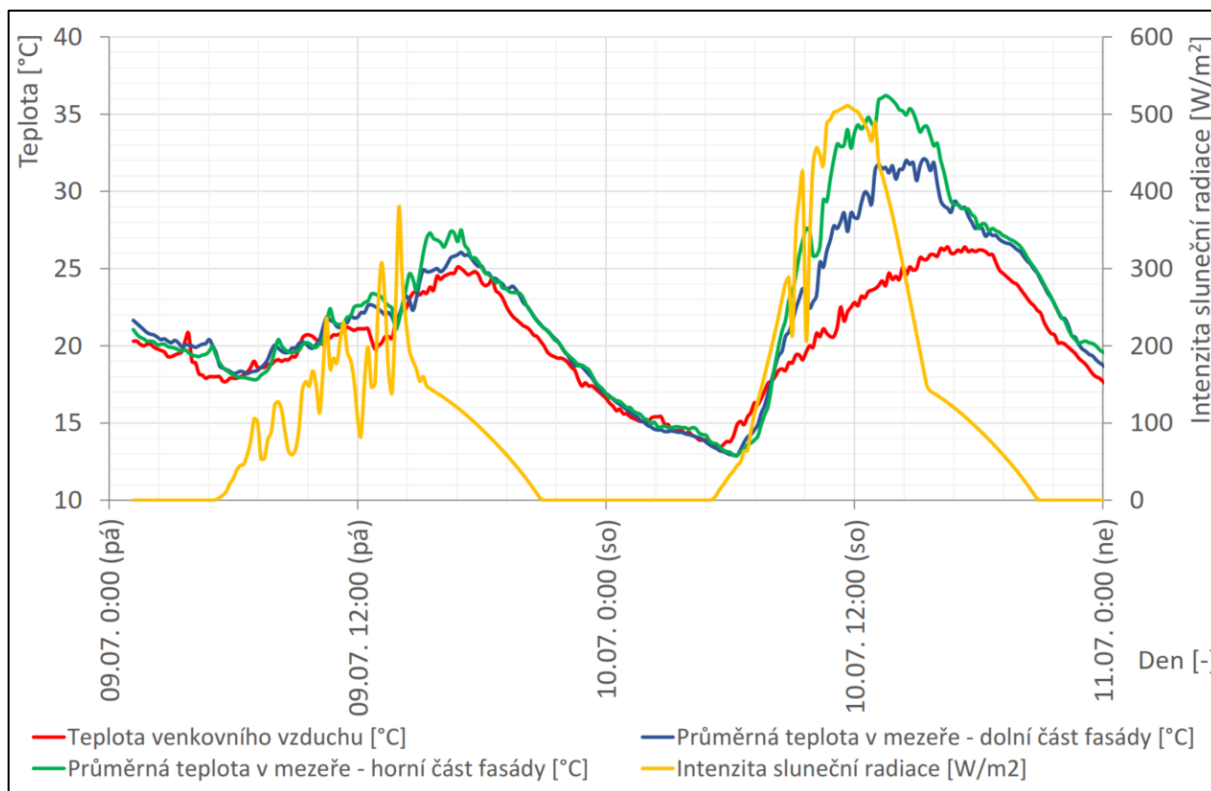
Nesmí se zapomenout, že teplotu v mezeře, a tedy i na vnitřním povrchu obkladu, stále ovlivňuje i proudění vzduchu. Spolu s rostoucí teplotou vzduchu v exteriéru a sluneční radiací dosahují teploty na površích následujících hodnot (obr. 9). Po zaznamenání poklesu sluneční radiace se teplota na vnějším povrchu obkladu zastaví na svém teplotním maximu a začne se ochlazovat vzduchem v exteriéru. Obklad je rozehrátý, ale už není ohříván sluneční radiací. Svou akumulovanou energii už jen v malé míře odevzdává do vzduchové mezery, než se začne sám ochlazovat z obou stran (z exteriéru i ze strany vzduchové mezery). Ta se začíná ochlazovat prouděním vzduchu. Průběh teplot je zobrazen v grafu. Skok teploty na vnitřním povrchu obkladu je dán skokem teploty vnějšího vzduchu.



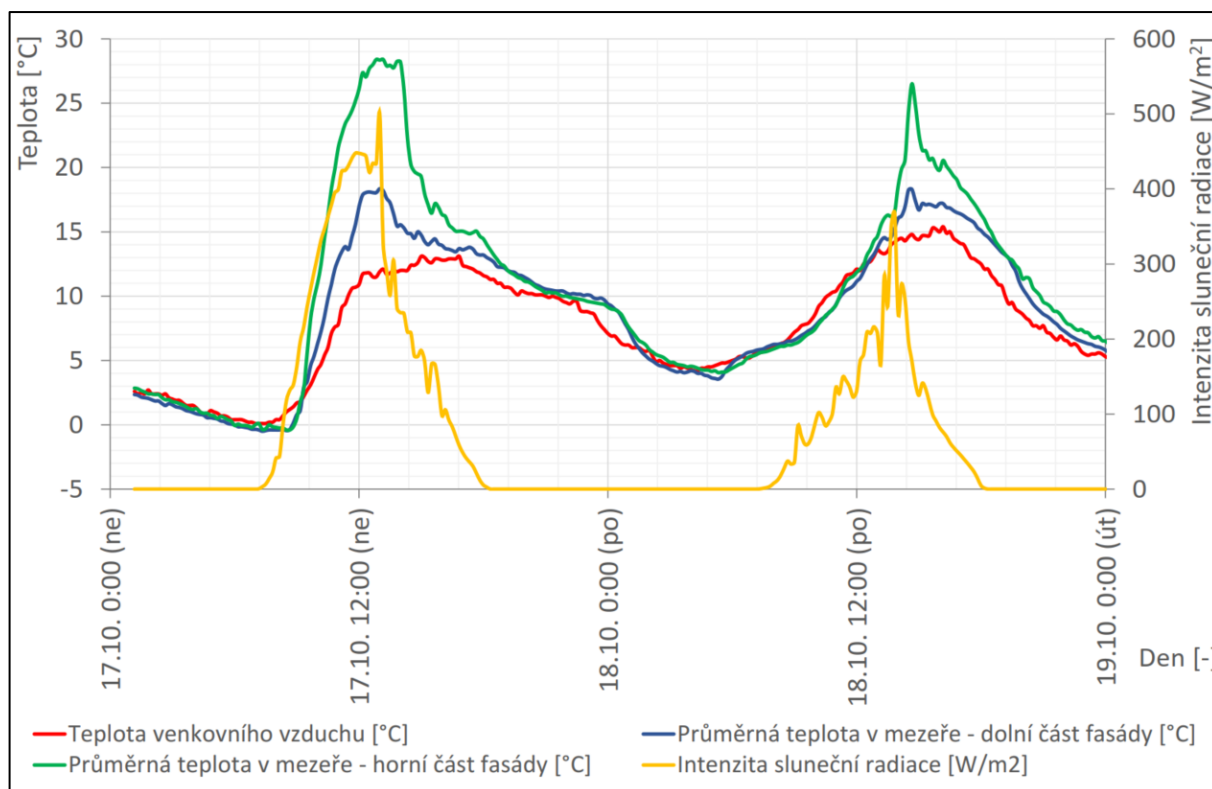
Obr. 9 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 1. 1. 2022



Obr. 10 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den  
 5. 3. 2022 a 6. 3. 2022



Obr. 11 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den  
 9. 7. 2022 a 10. 7. 2022



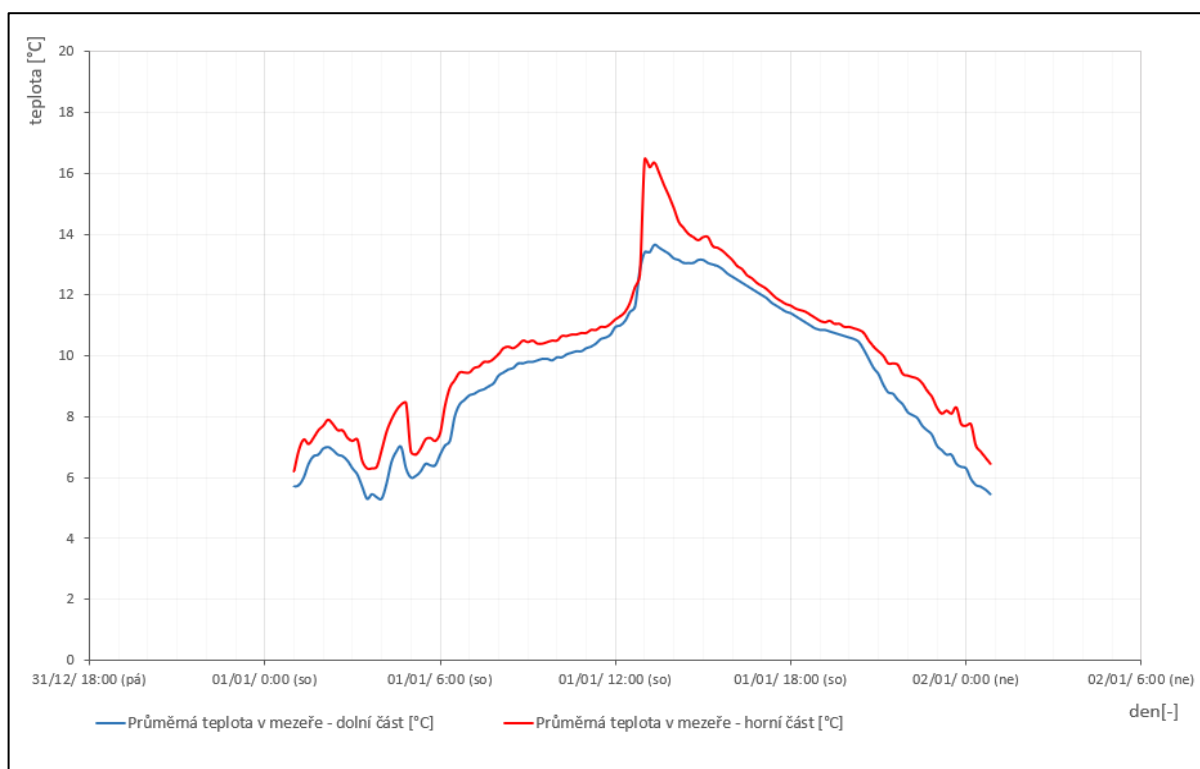
Obr. 12 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den  
17. 10. 2021 a 18. 10. 2021

### 2.3. Rozdíl teplot mezi horní a dolní částí fasády – výška fasády 14 m

Průměrné hodnoty teplot v mezeře byly vypočteny jako aritmetický průměr naměřených hodnot. Pro výpočet průměrné teploty v dolní části fasády byly použity teploty naměřené ze dvou spodních čidel (kontrolních bodů). Analogicky průměrné hodnoty horní fasády byly získány ze dvou horních čidel.

Graficky zobrazená data zobrazují rozdíl teplot v mezeře mezi dolní a horní částí fasády. Průměrně se jedná o rozdíl v teplotě o hodnotu 1 K. Rozdíl v teplotách se začíná měnit se změnou teploty venkovního vzduchu (v tomto případě zvýšením) a působením sluneční radiace. Spodní část fasády zůstává chladnější než ta horní. Nějakou chvíli trvá, než se obklad od sluneční radiace nahřeje, ale dokáže potom pojmout určité množství energie, které vykazuje výrazně vyšší teplotu než jeho okolí. Panel následně sálavým mechanismem přenosu tepla ohřívá vzduch v mezeře.

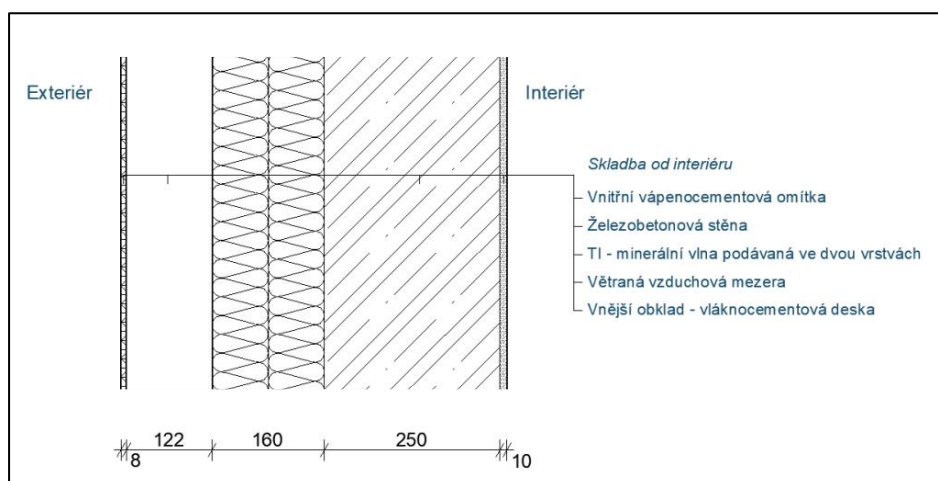
Vyšší teplota na horní straně fasády způsobí komínový efekt. Ten zde nastává v momentě, kdy část teplejšího a tím pádem lehčího vzduchu stoupá směrem vzhůru mezerou nad chladnější prostor s vyšší hustotou – v našem případě vzduch v exteriéru. Protože vzduch je také hmota, vystřídá ho přirozeně nasátý chladnější a těžší – ze spodní části. Vzduch je tedy stále v pohybu, dokud působí energie, která jej v nejvyšším místě ohřívá.



Obr. 13 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den 1. 1. 2022

Po vyhodnocení dat se dá tedy jednoduchým způsobem říct, že se vzduch při svém přesunu po výšce ohřeje. Případy, které v našem výzkumu mohou mít vliv na zvýšení teploty proudícího vzduchu, jsou tepelné ztráty interiéru přes obvodovou konstrukci, sálání přes vnější obklad nebo akumulované energetické rezervy v přilehlých stavebních materiálech.

Z dostupné technické dokumentace a naměřených dat jsme zjistili, že tepelné ztráty prostupem tepla přes obvodovou stěnu činí  $2,3 \text{ W/m}^2$  a jsou tedy velmi malé.

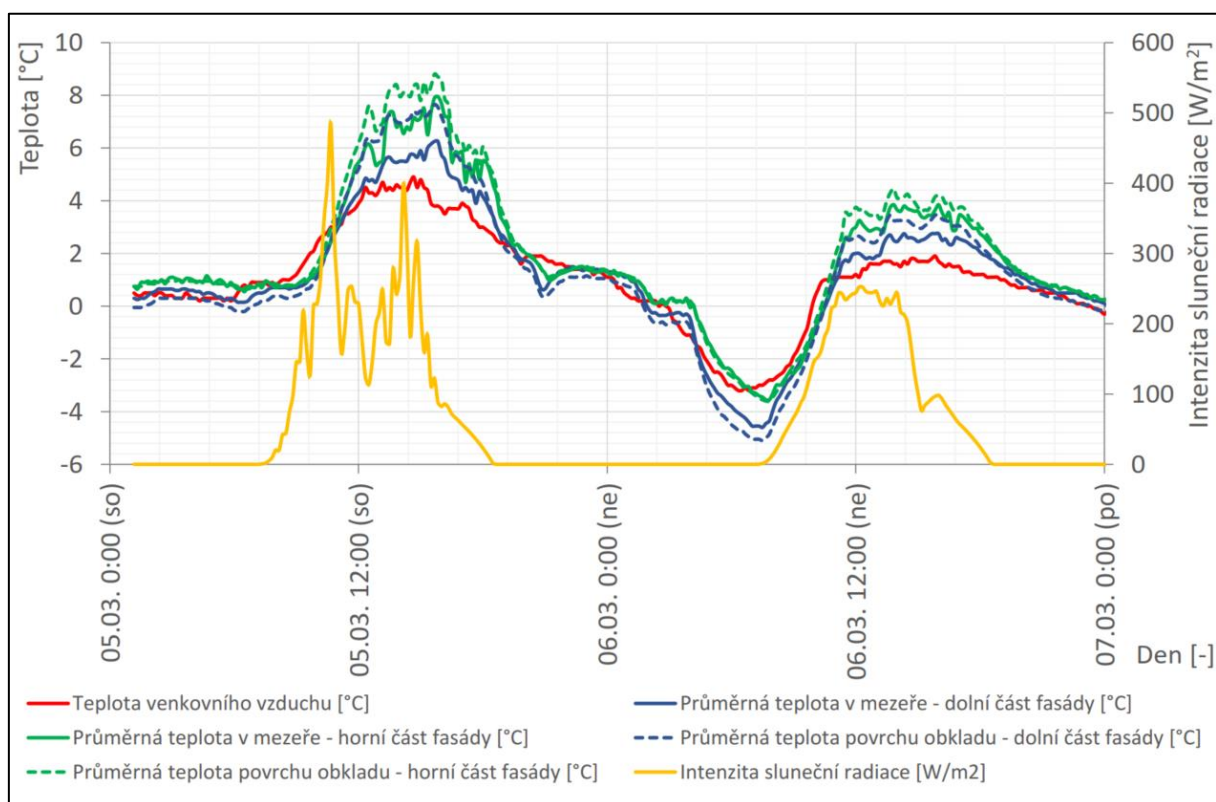


Obr. 14 – Řez obvodovou stěnou s fasádou

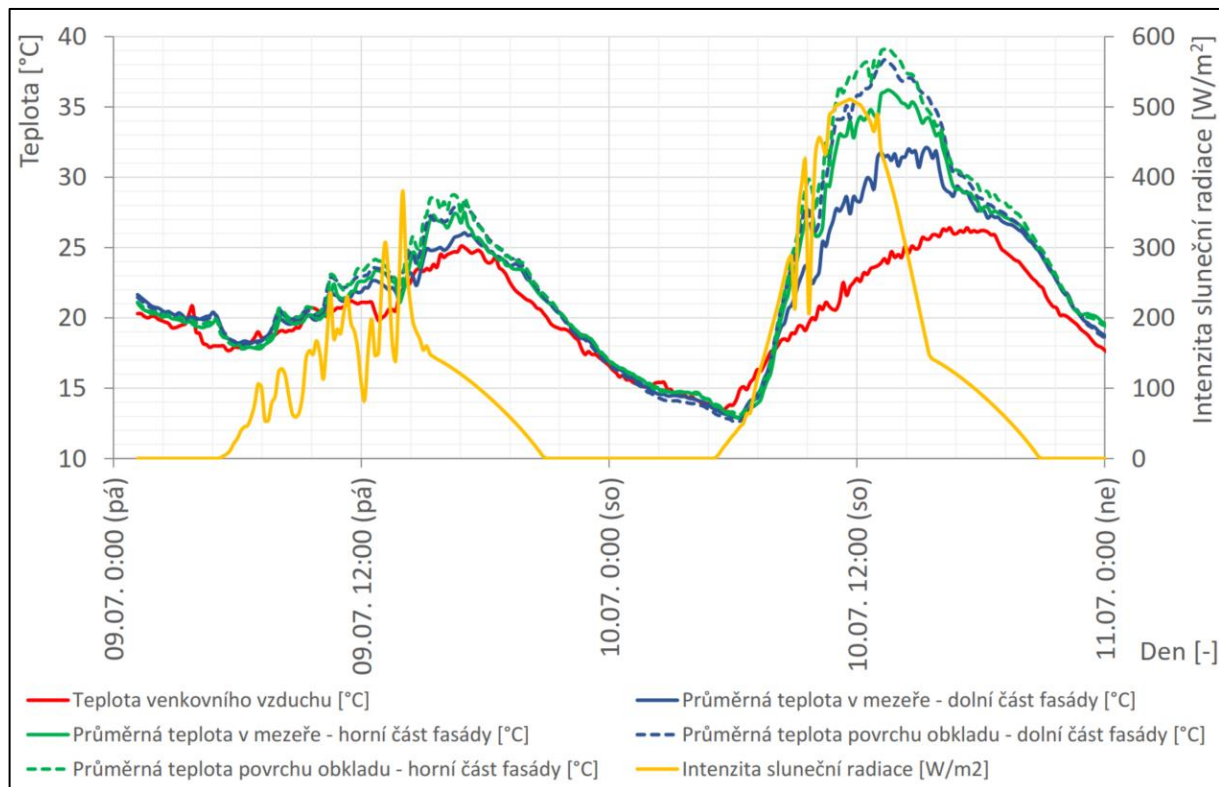
Označení	Typ, popis:	TL.
<b>SV/1</b>	<b>Obvodová stěna - dvojitá větraná konstrukce - obklad vláknocementovými deskami</b>	
	OBKLAD - vláknocementové desky, probarvené, broušené, s ochrannou hydrofobizující vrstvou	8 mm
	VZDUCHOVÁ MEZERA - větraná	122 mm
	TEPELNĚ IZOLAČNÍ VRSTVA - minerální vlna hydrofobizovaná s svislý podkladní rošt hliníkový, EPDM pásky, nakaširovanou netkanou textilií, pokládáno ve dvou vzájemně překrývaných vrstvách 80+80 mm $\lambda_{d,max}=0,036$ W/(m.K) kotevní materiál	160 mm
	ŽELEZOBETONOVÁ STĚNA - viz část F.1.2. stavebně konstrukční část	250 mm
	VNITŘNÍ OMÍTKA - jednovrstvá, vápenocementová	10 mm
	Tloušťka skladby celkem	550 mm
	Požární odolnost	
	Součinitel prostupu tepla navržené konstrukce	0,23 W/m <sup>2</sup> K
	Požadovaný součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	0,3 W/m <sup>2</sup> K
	Doporučený součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	0,25 W/m <sup>2</sup> K
	Neprůzvučnost $R_w$	dB

Obr. 15 – Snímek specifikace skladby obvodové stěny z projektové dokumentace

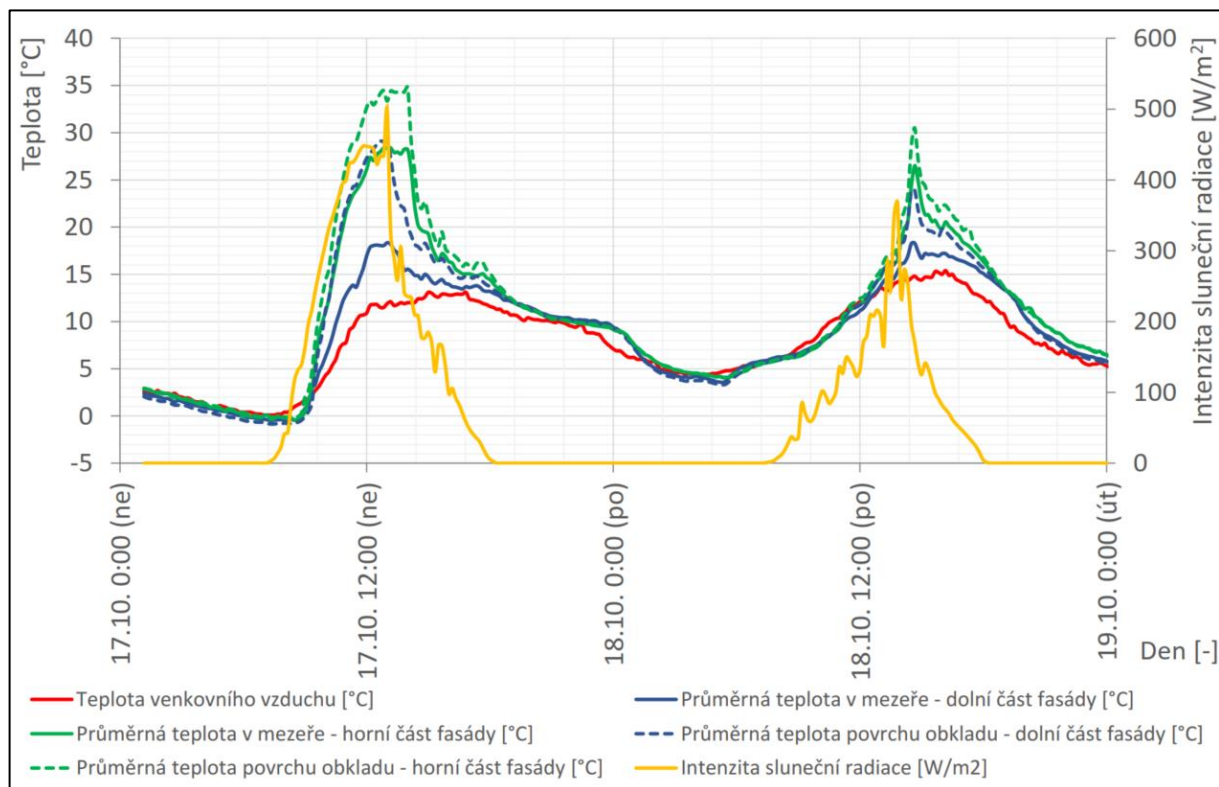
$$0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)} * 10 \text{ K (rozdíl teplot mezi interiérem } 20 \text{ }^\circ\text{C a větranou mezerou)} = 2,3 \text{ W/m}^2$$



Obr. 16 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den  
5. 3. 2022 a 6. 3. 2022



Obr. 17 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den  
 9. 7. 2022 a 10. 7. 2022



Obr. 18 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – posuzovaný den  
 17. 10. 2021 a 18. 10. 2021

## 2.4. Povrchová teplota na vnější straně obkladu

Zůstává nám tedy sálavý podíl obkladu na straně exteriéru jako nejvýznamnější „zdroj tepla“ pro vzduch v mezeře. Skutečným zdrojem je samozřejmě sluneční radiace působící na obkladový materiál. Vliv této radiace na povrchovou teplotu obkladu dokážeme popsat vztahem:

$$[a] \quad t_p = t_e + \frac{I \cdot \varepsilon}{\alpha} \quad \text{kde:}$$

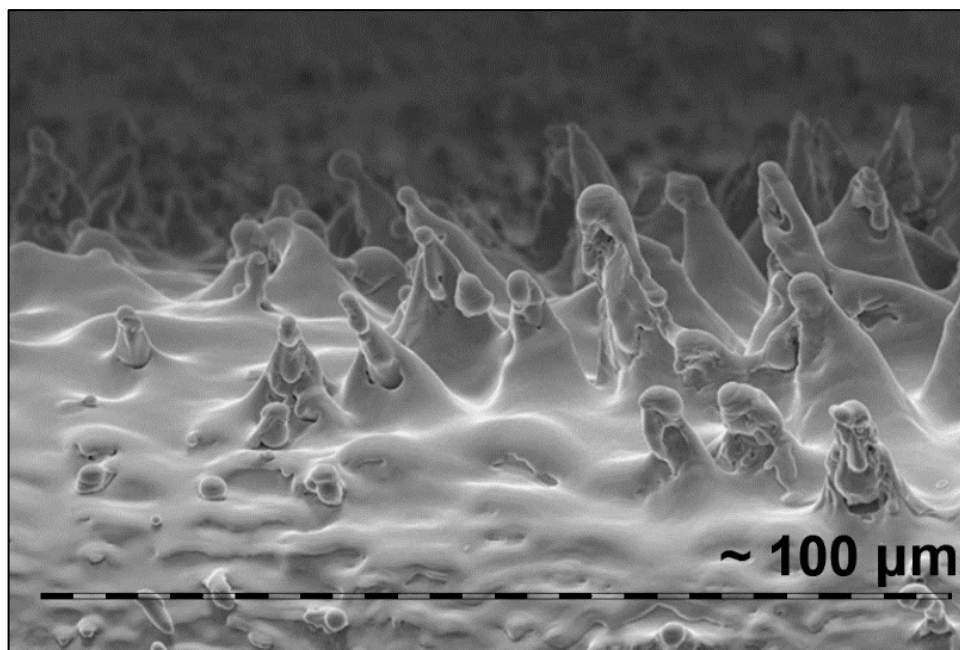
- $t_p$  = povrchová teplota na ozařované straně [°C]
- $t_e$  = teplota venkovního (povrch obklopujícího) vzduchu [°C]
- $I$  = intenzita sluneční radiace [W.m<sup>-2</sup>]
- $\varepsilon$  = součinitel světelné pohltivosti materiálu (koeficient extinkce) [-]
- $\alpha$  = součinitel přestupu tepla [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>]

Veličiny  $\alpha$  a  $\varepsilon$  jsou velmi specifické a hodně záleží na jednotlivých měsících v průběhu roku. Součinitel přestupu tepla  $\alpha$  popisuje míru přenosu tepla mezi pevným povrchem a tekutinou na jednotku povrchu na jednotku rozdílu teplot v mezní vrstvě. Mezní vrstva je tenká vrstva tekutiny v bezprostřední blízkosti ohraničujícího povrchu tvořená touto tekutinou proudící podél povrchu. Závisí například na následujících faktorech[48]:

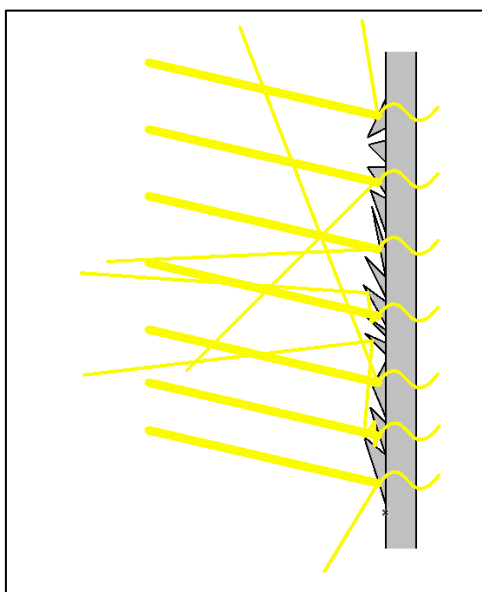
- povrchová úprava materiálu a čistota látek v místě jejich kontaktu (pro nás obklad – vzduch)
- tepelně technické vlastnosti samotných materiálů/látek v kontaktu
- tlak působící na dva vzájemně se ovlivňující materiály

Protože se bavíme o kontaktu vzduchu v exteriéru a povrchově upravené vláknocementové desky, jedná se o značně složitý případ. Vzduch i obklad jsou ovlivňovány všemi možnými s jistotou nepředvídatelnými meteorologickými jevy (studený či teplejší vítr, déšť, mráz, sníh, intenzita sluneční radiace...).

Podobně složitý případ je součinitel světelné pohltivosti materiálu  $\varepsilon$ . Největší podíl na významu tohoto součinitele má samotný materiál, na který dopadají paprsky slunečního záření. Důležité vlastnosti materiálu jsou barva a drsnost jeho povrchu, protože žádný povrch není dokonale hladký, ale obsahuje velmi malé strukturální výstupky. Jako ilustrační příklad je snímek z elektronového mikroskopu titanové součástky (obr. 19).



Obr. 19 – Povrch titanového výrobku pod elektronovým mikroskopem [49]



Obr. 20 – Ilustrace dopadajících slunečních paprsků na povrch materiálu – část energie je absorbována do materiálu. Tlusté čáry reprezentují přímou sluneční radiaci a tenké čáry představují odražené sluneční paprsky. Odražené paprsky nesou v sobě menší energii. Pokud se ale i přesto znovu odrazí do materiálu, přenesou do něj další energii navíc, než se ještě slabší paprsek odrazí dál

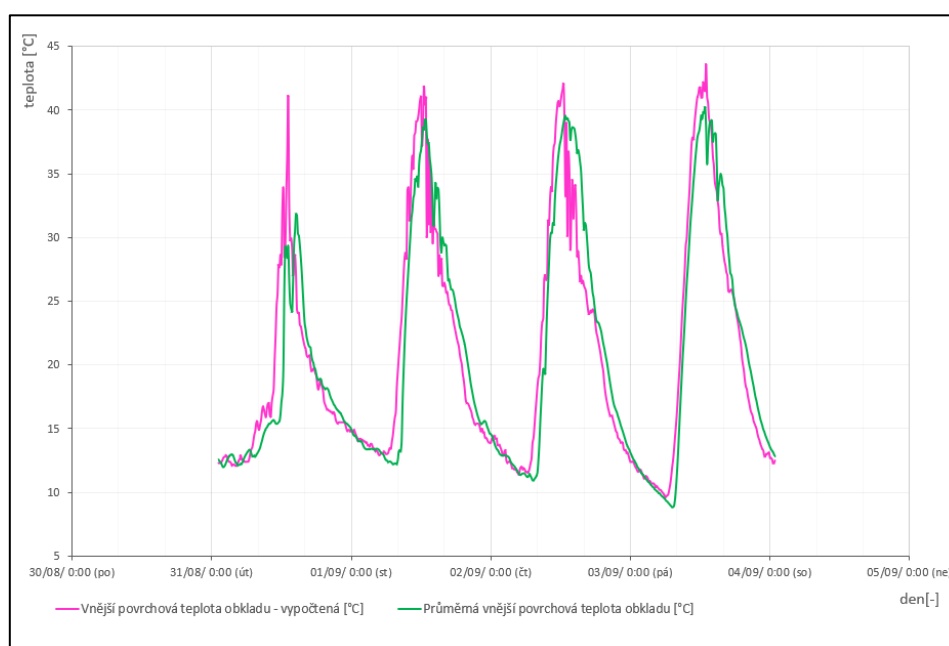
Abychom mohli používat součinitel světelné pohltivosti materiálu, nesmíme brát v potaz pouze vlastnosti samotného materiálu, ale také úhel dopadajících slunečních paprsků. Tento úhel bude pro každý kalendářní měsíc jiný a tudíž absorbovaná energie bude jiná. Na dopadající sluneční paprsky bude mít vliv také vlhkost vysrážená nebo

dopadená na povrch prachových částic nacházejících se ve vzduchu[50]. Tudíž by se dalo předpokládat, že dopadení těchto částic na povrch, vysrážení vzdušné vlhkosti či namrznutí povrchu nebo jeho části bude mít také vliv na hodnotu tohoto součinitele. Proto koeficient extinkce nebude pro každý měsíc stejný a je nutno ho aproximovat spolu se součinitelem prostupu tepla.

Dostáváme teda dvě neznáme, u kterých jsme se shodli, že při jejich získávání bude nejoptimálnějším řešením aproximace ke skutečným naměřeným hodnotám. Z důvodu velmi vysoké náročnosti bylo analytické řešení vyloučeno.

Toto technické přiblížení probíhalo následovně – pro každý den v každém měsíci byla zvolena křivka hodnot, které odpovídala funkce „ $f(x) = [a]$ “ s použitím našeho vztahu. Znali jsme teplotu venkovního vzduchu  $t_e$ , znali jsme intenzitu sluneční radiace  $I$ , obojí z měření. Dvě zbylé neznámé veličiny jsme dostali tak, že jsme zvolili první empirické hodnoty, od kterých jsme se odrazili. Vzájemně jsme je následně upravovali tak, abychom se co nejvíce přiblížili hodnotám druhé křivky, která reprezentovala skutečné naměřené hodnoty povrchové teploty fasádního obkladu. Tímto způsobem se pokračovalo v dalších dnech měsíců. Aproximované hodnoty pro každý den byly zpětně a opakovaně upravovány tak, aby bylo zajištěno optimální technické přiblížení hodnotám pro daný měsíc, dokud se řešení dostalo až k poslednímu dni v měsíci. Tato zpětná kontinuální korekce způsobila, že předešlé aproximace se často mírně oddálily od přesného výsledku. Ale tak, aby mohly hodnoty reprezentovat charakteristický stav pro celý řešený měsíc (viz finální grafy níže). Následovala poslední celková kontrola aproximace pro samotný měsíc a vyhodnocení výsledných hodnot koeficientů  $\alpha$  a  $\varepsilon$ .

Dalo by se zjednodušeně říct, že jsme korekcí těchto součinitelů zvládli usměrnit vliv nepředvídatelných jevů počasí pro výpočet. Pro dosažení určité přesnosti výsledku je potřeba rozdělit výsledné součinitele speciálně pro aspoň každý měsíc.



Obr. 21 – Snímek výsledné aproximace ze softwaru v MS Excel – hodnoty pro měsíc září

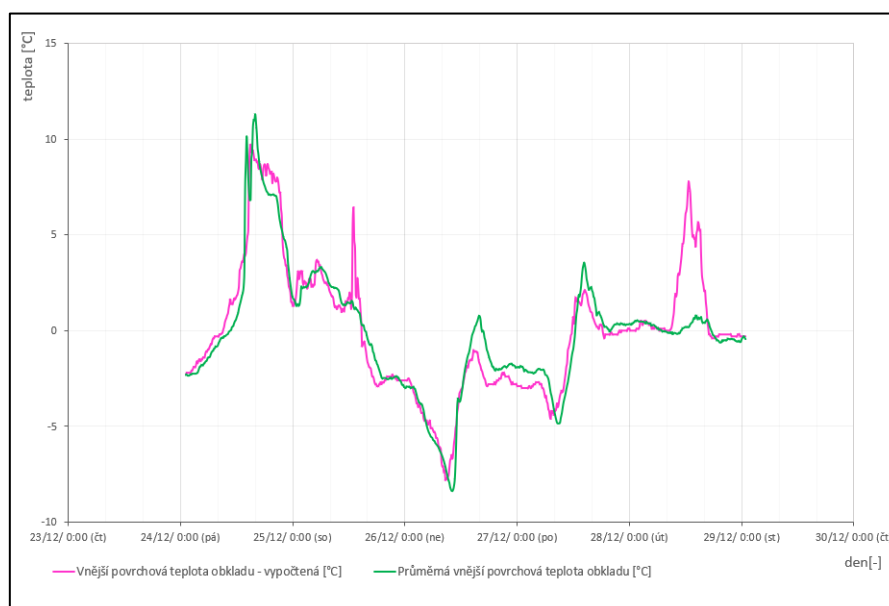
Empirické hodnoty, od kterých jsme se odrazili, se používají v běžné praxi u situací nám podobných. Součinitel přestupu tepla se odrazil od normativní hodnoty pro přestup na venkovní straně svislé stavební konstrukce (viz tabulka níže). Mohli jsme se tak odrazit od hodnot  $15 \text{ W/m}^2\text{K}$  pro teplejší letní období a  $23 \text{ W/m}^2\text{K}$  pro chladnější zimní období.

Součinitel světelné pohltivosti materiálu byl odborným odhadem stanoven na hodnotu 0,7 a dále se s ním aproximovalo dokud jsme nedosáhli přesnější hodnoty.

Povrch, poloha a druh stavební konstrukce		$\alpha_i, \alpha_e$ ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )	
Vnitřní	Svislá konstrukce	8	
	Vodorovná konstrukce při tepelném toku	zdola nahoru	8
		shora dolů	6
Venkovní	zimní období	23	
	letní období	15	

Obr. 22 – Tabulka součinitele celkového přestupu tepla, převzato z ČSN 73 0540

Při řešení hodnot pro jednotlivé dny jsme brali v potaz meteorologické jevy jako byla zvýšená rychlost větru, oblačnost, srážky... Data, která jsme měli k dispozici z měření. Tyto nahodilé jevy se objevily těsně před atypickým kolísáním povrchové teploty. Dá se tedy předpokládat, že měli vliv na povrchovou teplotu obkladu a tím pádem vliv na součinitel přestupu tepla. Pro každou minutu dne by musel být tento součinitel trochu jiný. I proto jsme se shodli na tomto postupu pomocí výsledné měsíční aproximace.

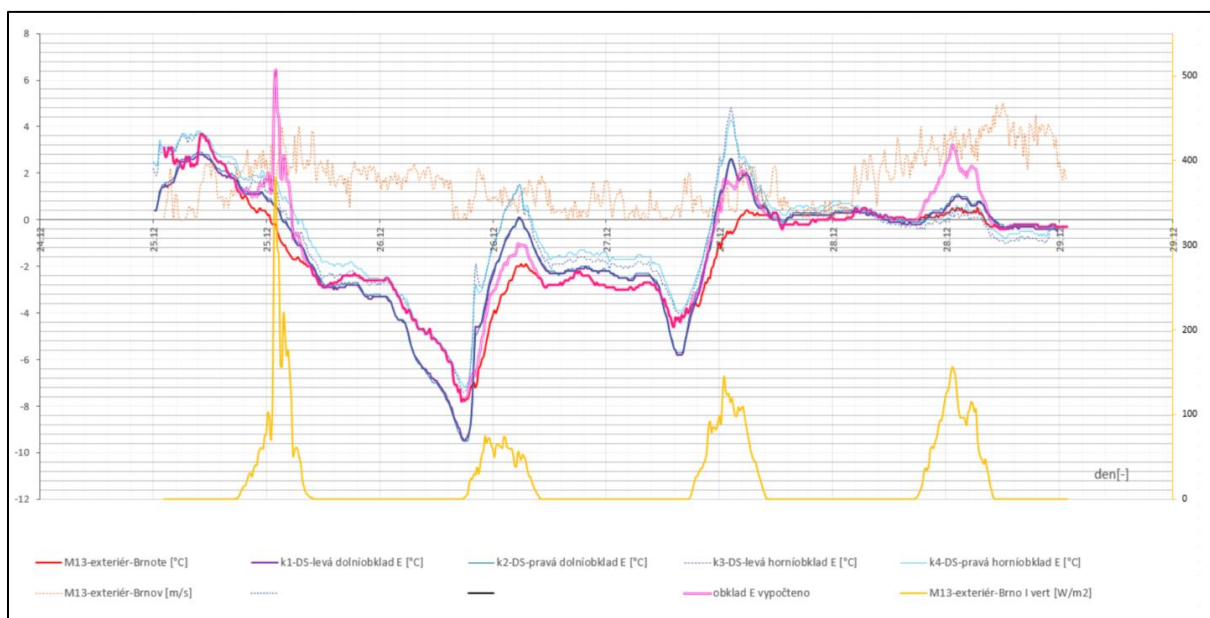


Obr. 23 – Výsledná aproximace – ukázka 5 dnů na konci prosince,  $\alpha = 40 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $\varepsilon = 0,7$

Zobrazený graf z prosince ukazuje vícero zajímavých jevů, se kterými jsme se při aproximaci setkali a museli jsme je ve výsledném vyhodnocení brát v úvahu.

V sobotu 25. 12. 2021, kolem poledne, začalo po relativně krátkou dobu intenzivně svítit slunce. Byl zde však přítomný vítr o rychlosti 3 m/s a vzhledem k výraznému poklesu teploty vzduchu v exteriéru se dá konstatovat, že byl silně ochlazující. To mělo následně vliv na povrchovou teplotu obkladu. Skutečná teplota povrchu obkladu se tedy působením relativně silného slunečního záření nijak výrazně nezvedla a po poklesu intenzity sluneční radiace se povrch dále ochlazoval spolu s jeho okolím. Výpočtová povrchová teplota se tady lišila o 5 K, protože vztah s tímto složitým případem nepočítá. Tohle byl ale ojedinělý případ, který se v průběhu zimního ročního období podařilo zpozorovat třikrát.

Následující den se teploty vzduchu držely pod bodem mrazu. V brzkých ranních hodinách byly nejspíš silné přízemní mrazy, protože teplota spodní části fasády dosáhla téměř k  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zatímco podle dat horní část fasády byla o  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  teplejší – jen o dvě desetiny stupně teplejší než teplota venkovního vzduchu. Přítomen byl pouze mírný vánek ( $<1\text{ m/s}$ ) a slabá intenzita sluneční radiace ( $75\text{ W/m}^2$ ). Tyto podmínky však stačily k ohřátí povrchu fasády nad bod mrazu. Teplota vnějšího povrchu obkladu byla o  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  vyšší než teplota vzduchu v exteriéru ( $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Malý teplotní rozdíl změřené teploty povrchu oproti chladnější vypočítané teplotě povrchu (do  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) zobrazuje přítomnost již aproximovaných hodnot součinitele prostupu tepla a součinitele pohltivosti, jež byly nastaveny pro celý měsíc prosinec s vlivem různých povětrnostních jevů (obzvláště silnější vítr).



*Obr. 24 – Snímek pracovní verze grafu s různými vlivy počasí, se kterým se pracovalo v průběhu aproximace. Snímek má víc informativní než prezentační charakter, chybí tam smysluplné dělení, legenda pro odbornou veřejnost nebo údaje jako například popis os (levá osa označuje teplotu [ $^{\circ}\text{C}$ ] a zároveň rychlost větru [ $\text{m/s}$ ], pravá osa intenzitu sluneční radiace [ $\text{W/m}^2$ ])*

Poslední prezentovaný den vykazoval jistou intenzitu sluneční radiace (až 150 W/m<sup>2</sup>), avšak působil téměř nepřetržitý silnější vítr o rychlosti až 5 m/s. Sice nezpůsobil pokles venkovní teploty, ale podle dat nepřetržitě ochlazoval vnější povrch obkladu a ten se tak nestačil výrazně ohřát.

Stejným procesem proběhla aproximace jiných měsíců. Zjistilo se, že s určitou přesností se hodnoty koeficientů  $\alpha$  a  $\epsilon$  přírodními zákony opakují se zrcadlením v měsíci červnu, respektive prosinci.

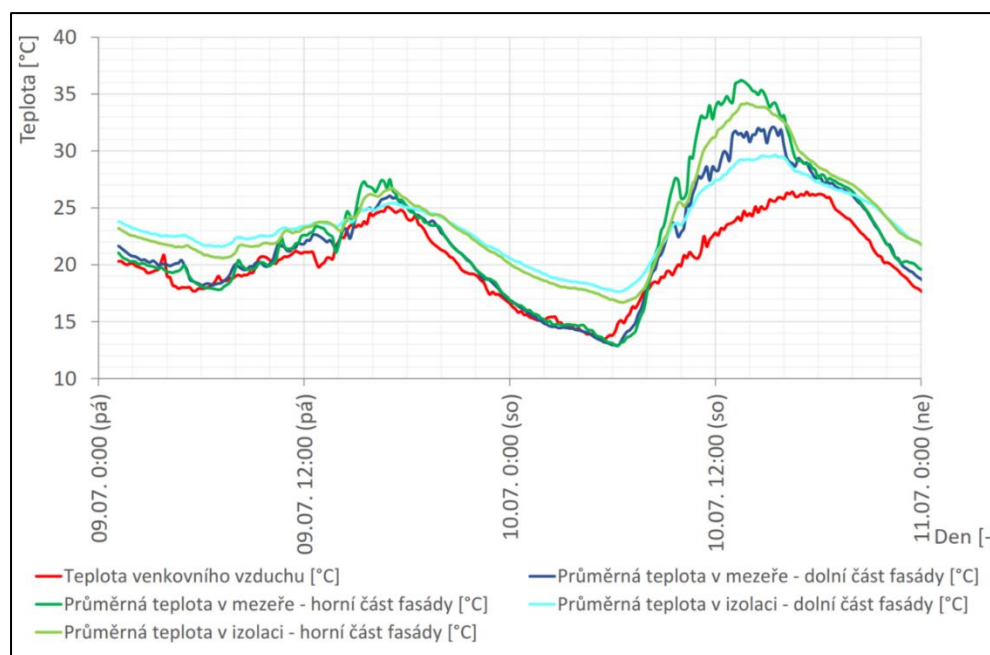
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$\alpha$ [W/m <sup>2</sup> K]	24	22	16	15	15	17	15	15	16	22	24	40
$\epsilon$ [-]	0,75	0,65	0,60	0,50	0,45	0,50	0,45	0,50	0,60	0,65	0,75	0,70

Obr. 25 – Výsledná tabulka zjištěných součinitelů v průběhu roku

## 2.5. Porovnání teploty v mezeře a v tepelné izolaci

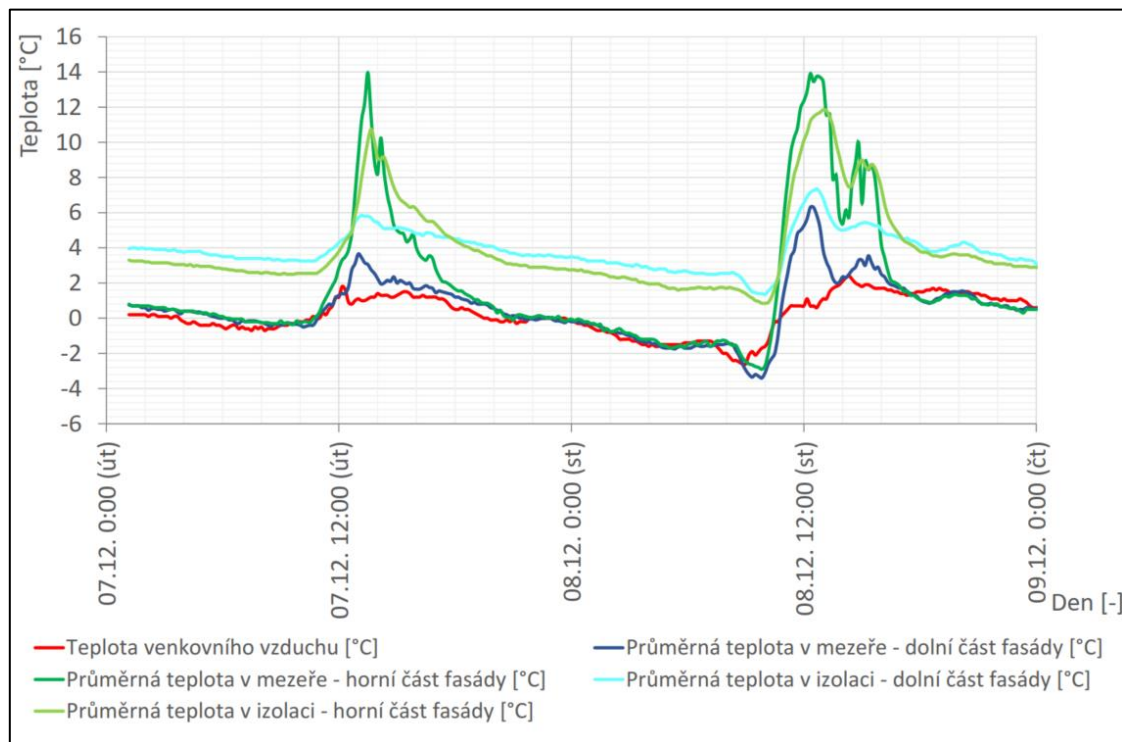
Čidlo měření teploty uvnitř izolace bylo montováno spíše jako prvek pro doplňující informace, ale díky hodnotám právě těchto teplot jsme zjistili, že konvektivní proud tepla v ohřáté vzduchové mezeře je schopen ohřívat tepelnou izolaci.

S rostoucím rozdílem teplot roste i tepelný tok, tudíž vyšší patra jsou v nevýhodě. Právě tam má vzduch v mezeře nejvyšší teploty a obvodová stěna, respektive izolace, se přirozeně snaží udržet rovnovážný stav teplot mezi interiérem a exteriérem. To způsobuje právě popisovaný rozdíl v teplotách a tudíž vyšší tepelný tok, který směřuje od teplejšího prostředí ke chladnějšímu. V nejnižším bodě fasády nedochází k většímu přenosu tepla mezi větranou mezerou a tepelnou izolací.



Obr. 26 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – dva reprezentativní letní dny

Dne 10. 7. z grafu (obr. 26) lze dobře pozorovat rozdíl teplot mezi horní a spodní částí fasády v místě, kde měří čidlo teplotu uvnitř izolace. Vzhledem k analogii ohřevu izolace spolu s ohřevem vzduchu v mezeře podle teploty vzduchu v exteriéru a intenzity sluneční radiace, která v tu dobu byla přítomna, si dovoluji konstatovat, že tepelná výměna mezi interiérem a exteriérem nemá významný vliv na teplotu v izolaci. Ohřev izolace ale může způsobit jak teplo předané proudícím vzduchem, tak sálavým mechanismem přenosu tepla z obkladového panelu. V letním období bude v horních patrech mírně vyšší potřeba energie pro chlazení.



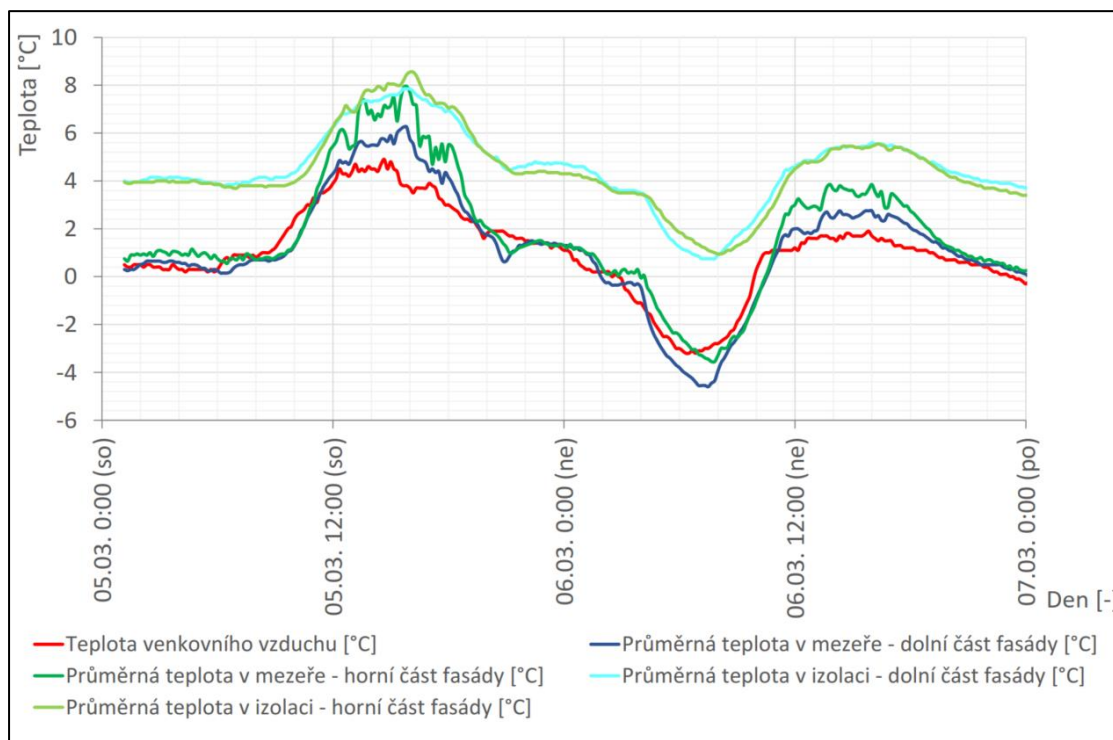
Obr. 27 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – dva reprezentativní zimní dny

Data v zimním období dobře reprezentují jak velký vliv má vnější prostředí na celkové teplotní chování fasády. Obzvláště intenzita sluneční radiace.

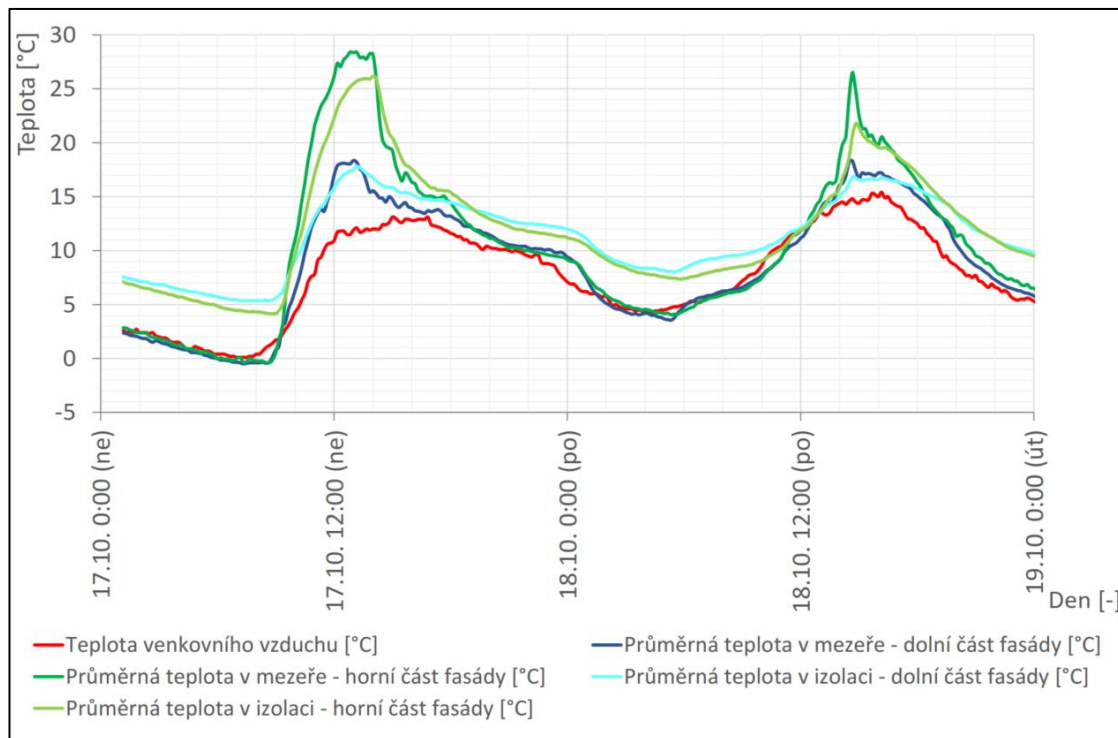
V nočních a ranních hodinách je teplota v izolaci ve spodní části fasády mírně vyšší. Dokázal bych si to vysvětlit tím, že při zemi je vzduch teplejší vlivem akumulované tepelné energie činností člověka nebo slunečních zisků z předešlého dne. A to jak akumulovanou energií ze stavebních konstrukcí tak z více izolovaného prostředí než je samotný vzduch ve výšce. Stejný princip toho, že je v zimním období větší teplo ve městě než na samotě. Horní část fasády je daleko více ovlivněna působením vnějších klimatických vlivů, proto je horní část mírně chladnější. Teplota venkovního vzduchu je téměř identická s teplotou vzduchu v mezeře po celé výšce fasády.

Rozednění přináší sebou sluneční radiaci. Ta v momentě svého působení začne ohřívat vzduch a hlavně obkladové panely, které následně předávají teplo do mezery a do izolace. Zde je vidět významný vliv na horní část fasády. S klesající intenzitou sluneční

radiace následně klesá teplota vnějšího vzduchu a výrazně klesá teplota vzduchu v mezeře. Teplota v izolaci klesá postupně a pomaleji. Uvnitř izolace jsou stabilnější podmínky než mimo ni. Spodní část fasády vykazuje výrazně menší teplotní zisky než horní část fasády a to včetně izolace.



Obr. 28 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – dva reprezentativní jarní dny

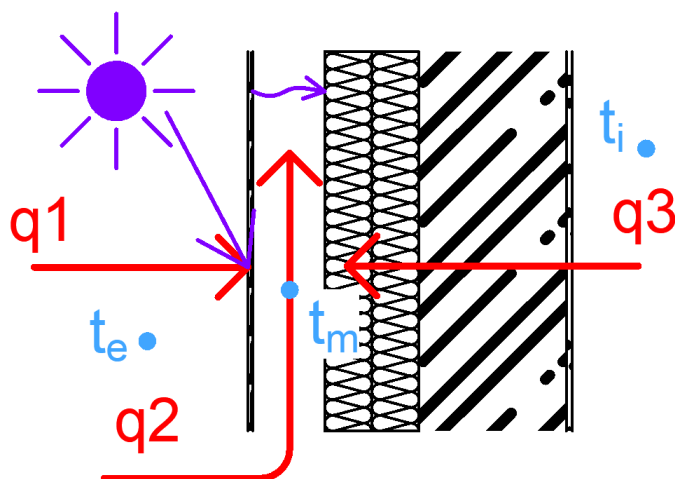


Obr. 29 – Snímek grafu ze softwaru v MS Excel – dva reprezentativní podzimní dny

### 3. Závěr

Podílel jsem se na výzkumu s podporou projektu TAČR číslo FW03010062: Chytrá fasáda s optimalizovanými energetickými vlastnostmi. Mým přínosem pro tento výzkum bylo zjištění pro výpočet významných koeficientů  $\alpha$  a  $\varepsilon$  (obr. 25), pomoc při poznávání fyzikálních dějů přítomných uvnitř větrané fasády a pár dílčích porovnávání našich postupů s dosavadními postupy při výpočtech a se znalostmi o větraných fasádách. Tyto dílčí úkoly jsem ale do své diplomové práce nezahrnul.

Teď už dokážeme s určitou přesností říct, jaké povrchové teploty budou přítomny na provětrávané fasádě za daných okrajových podmínek a že náš vztah pro výpočet je použitelný. Víme, co můžeme v mezeře očekávat za mechanismy při přestupu tepla v různých ročních obdobích a jak se chová vzduch v mezeře z termodynamického hlediska. Víme jak významně se podílí výška fasády a klimatické podmínky na dění uvnitř větrané mezery. Naše znalosti jsou použity v sofistikovaných výpočtech, které jsou základem pro software „FSVM software 2.0“.



Obr. 30 – Schéma přenosu tepelné energie do fasády

Obrázek popisuje tři již mnou jmenované způsoby přenosu tepelné energie do fasády. Nejvýznamnější –  $q_1$  – popisuje vliv sluneční radiace na ohřívání obkladového panelu, který následně sálavým mechanismem přenosu tepla odevzdává teplo do vzduchu v mezeře a částečně i do tepelné izolace.

$q_2$  představuje proud vzduchu s teplotou venkovního vzduchu, který se ale po výšce fasády ohřívá. Rozdíl v hustotě teplejšího vzduchu nahoře a chladnějšího vzduchu dole zajišťuje pohyb vzduchu mezerou směrem nahoru. Vzduch se tak po cestě nahoru neustále ohřívá dokud neopustí prostor fasády. V zimním období v nočních hodinách, kdy jsou teploty nahoře i dole prakticky stejné, nedochází k pohybu vzduchu.

$q_3$  – poslední složka je prostup tepla vedením přes konstrukci. V letních měsících se směr toku může změnit, ale hodnoty toku budou relativně malé.

## Zdroje:

- [1] – Národní památkový ústav, 2020, *Jak se v minulosti stavělo s vápnem*, YouTube video. [2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=f9EPqMP5d0s>
- [2] – Zpevňování omítek. In: *ASB Portal* [online]. Brno: ARCHATT, 2009 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/fasada/omitky-fasada/zpevnovani-omitek-historickych-budov>
- [3] – Historie a současnost zateplovacích systémů. *Střechy Praha* [online]. Praha: Střechy Praha, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.strechy-praha.cz/historie-soucasnost-zateplovacich-systemu>
- [4] – A semi-detached house. In: *Wikimedia* [online]. Sosnowiec-Dańdówka: Kamil Czaiński, 2022 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Sosnowiec\\_Da%C5%84d%C3%B3wka%2C\\_Wojska\\_Polskiego\\_203%2C\\_zacieplenie\\_styropianem.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Sosnowiec_Da%C5%84d%C3%B3wka%2C_Wojska_Polskiego_203%2C_zacieplenie_styropianem.jpg)
- [5] – Skladba ETICS. In: *Rebu-stav* [online]. Praha: Rebu-stav, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.rebustav.cz/data/sluzby/etics---.png>
- [6] – ROMILA, Claudiu. GENERAL PRINCIPLES FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF VENTILATED FAÇADES. *Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Secția 6, Construcții, arhitectura* [online]. Iași: Gheorghe Asachi Technical University of Jassy, 2013, **59**(3), 161-161 [cit. 2023-01-13]. ISSN 1224-3884. Dostupné z: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/general-principles-design-construction-ventilated/docview/1464728511/se-2>
- [7] – Typy struktur. In: *Cz.Weber* [online]. Praha: Weber Saint-Gobain, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cz.weber/fasada-domu/jak-vytvorit-strukturalni-finalni-upravu-typy-struktur>
- [8] – Detail dřevěného obkladu. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://www.cad-detail.cz/pa\\_det/2080325.htm](https://www.cad-detail.cz/pa_det/2080325.htm)
- [9] – Terracotta precast solution. In: *LOPO* [online]. China: LOPO, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.lopochina.com/upload/image/20190415/1555310305902681.jpg>
- [10]– <https://constrofacilitator.com/wp-content/uploads/2022/05/clay-facade.jpg>
- [11]– Konzole. In: *Kamenné obklady Praha* [online]. Praha: Kamenné obklady Praha, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <http://www.kamenne-obklady-praha.cz/data/article/filemanager/konzole.png>
- [12]– Fasáda ze skalního obkladu. In: *Kámen Bohemia* [online]. Louňovice u Říčán: Kámen Bohemia, 2022 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://www.kamenbohemia.cz/data/kamenbohemia.cz/images/tmp/fasada\\_ze\\_skalniho\\_obkladu\\_b\\_0930825556b7d0dd.jpg](https://www.kamenbohemia.cz/data/kamenbohemia.cz/images/tmp/fasada_ze_skalniho_obkladu_b_0930825556b7d0dd.jpg)

- [13]– Rustique big image. In: *HOME* [online]. Praha: Jaga Media, 2012 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/wp-content/uploads/2013/01/06a-rustique-big-image.jpg>
- [14]– Varianta systému KMB SENDWIX. In: *IMaterialy* [online]. Praha: Business Media One, 2020 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.imaterialy.cz/obrazek/5ede0f8b4e2b0/kmb01c.jpg>
- [15]– KOHLER, Manfred. Green facades--a view back and some visions. *Urban ecosystems* [online]. Boston : Springer US, 2008, **11**(4), 423-436 [cit. 2023-01-13]. ISSN 1083-8155. Dostupné z: doi:10.1007/s11252-008-0063-x
- [16]– Detail zalozeni ETICS. In: *Cz.Weber* [online]. Praha: Weber Saint-Gobain, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cz.weber/files/cz/pictures/2019-07/ETICS%20weber%20therm%20elastik%20SAN%20-%20detail%20zalozeni.JPG>
- [17]– Příklad skleněné fasády. In: *Pozemní stavitelství III.* [online]. Ostrava: FAST VŠB, 2006 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/pict/0212.jpg>
- [18]– HELZEL, Martina a Peter GREEN. *Stainless Steel Facades: Building Series, vol. 2* [online]. 2nd edition. Luxembourg: Euro Inox, 2002 [cit. 2023-01-13]. ISBN 2-87997-002-4. Dostupné z: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Facades\\_EN.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Facades_EN.pdf)
- [19]– Stainless steel wall cladding panels. In: *TBK Metal* [online]. China: TBK Metal, 2022 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.tbkmetal.com/wp-content/uploads/2022/04/Stainless-Steel-Wall-Cladding-Panels-1.jpg>
- [20]– Curtain wall. In: *AFC* [online]. Sydney: Australian Fire Control, 2021 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://static.wixstatic.com/media/f945e2\\_86ec6f6917b64163a78cd903d2bb0197~mv2.jpg](https://static.wixstatic.com/media/f945e2_86ec6f6917b64163a78cd903d2bb0197~mv2.jpg)
- [21]– How the tragedy unfolded at Grenfell Tower. *BBC News* [online]. London: BBC, 2018 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-40272168>
- [22]– The Torch Tower. In: *Cladding Investigation Solutions* [online]. Bundamba: FCA, 2014 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://facadeconsultants.com.au/wp-content/uploads/2015/02/unnamed-1.jpg>
- [23]– Solar shading. *Smartlouvre* [online]. Hampshire: Smartlouvre Technology, 2021 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.smartlouvre.com/applications/solar-shading>
- [24]– DXA Studio's 'The Maverick' wraps up facade install of acid-etched precast concrete panels. *Archpaper* [online]. New York: The Architect's Newspaper, 2020 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.archpaper.com/2020/08/facades-dxa-studios-the-maverick-acid-etched-precast-concrete-panels/>

- [25]– Eglin Schüco ProSol TF. In: *ASB Jaga Media* [online]. Praha: Jakub Schneider, 2011 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://www.asb-portal.cz/wp-content/uploads/images/fotogaleria/fotogalerie/stavebnictvi/fotovoltaiicke\\_fasady\\_novy\\_prinos\\_pro\\_stavbu\\_fotoalbum/01-eglin-schuco-big-image.jpg](https://www.asb-portal.cz/wp-content/uploads/images/fotogaleria/fotogalerie/stavebnictvi/fotovoltaiicke_fasady_novy_prinos_pro_stavbu_fotoalbum/01-eglin-schuco-big-image.jpg)
- [26]– Plastové palubky a obklady. In: *Stavební ráj* [online]. Bořitov: JM-DODOS, 2021 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://www.plastove-palubky-obklady.cz/gallery/plastove\\_palubky\\_obklady\\_01.jpg](https://www.plastove-palubky-obklady.cz/gallery/plastove_palubky_obklady_01.jpg)
- [27]– Peoples Pavillion Eindhoven. In: *Archello* [online]. Amsterdam: Archello, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://archello.s3.eu-central-1.amazonaws.com/images/2018/01/31/003-Peoples-Pavillion--Eindhoven.1517366045.9093.jpg>
- [28]– Decker, Martina. (2013). *Emergent Futures: Nanotechnology and Emergent Materials in Architecture*. [cit. 2023-01-13]
- [29]– Homeostatic facade system. In: *Constro Faciliatator* [online]. Bengaluru: Constrofaciliatator, 2020 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://constrofaciliatator.com/wp-content/uploads/2020/12/homeostatic-facade-system.jpg>
- [30]– KONTOLEON, K.J. Glazing solar heat gain analysis and optimization at varying orientations and placements in aspect of distributed radiation at the interior surfaces. *Applied Energy* [online]. 2015, **144**, 152-164 [cit. 2023-01-13]. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2015.01.087
- [31]– Detail u parapetu větrané fasády. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/202030018.pdf>
- [32]– Curtain wall FBD. In: *The Constructor* [online]. Vadodara: Soukeen Online Services LLP, 2017 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://i0.wp.com/theconstructor.org/wp-content/uploads/2017/08/curtain-wall-fbd.jpg?resize=492%2C279&ssl=1>
- [33]– Okno správně a špatně. In: *Zateplení Kwaczek* [online]. Staré Město: Zbigniew Kwaczek, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-kwaczek.cz/data/filecache/1f/okno-spravne-a-spatne.jpg>
- [34]– Lepení minerální vaty. In: *TZB-info* [online]. Praha: KNAUF INSULATION, 2019 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/zpravy/0252/025280o1.jpg>
- [35]– *Zateplení domů může přispět ke zvýšení radonu* [online]. Olomouc: Izolace-info.cz, 2013 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-fasady-1/9744-zatepleni-domu-muze-prispet-ke-zvyseni-radonu-a.html>
- [36]– Skladba vrstev ETICS na nové stěně. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/2020090.pdf>

- [37]– Skladba vrstev ETICS u balkonu. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/202050075.pdf>
- [38]– DORDÁ, Huedo, Pitarch ROIG, Centelles ESCRIG a Monfort GURREA. *Water penetration onto ventilated facade joints* [online]. Castellon, 2010 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2010115.pdf>. Experimental study. Universitat Jaume I.
- [39]– Fermacell horizontální dilatační spára. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/20200054.pdf>
- [40]– Fermacell vertikální dilatační spára. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/20200056.pdf>
- [41]– Fermacell horizontální spoj. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/20200055.pdf>
- [42]– Fermacell vertikální spoj. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/20200057.pdf>
- [43]– Fermacell vertikální spoj. In: *CAD-DETAIL* [online]. 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.cad-detail.cz/depdf/20200058.pdf>
- [44]– Detail ostění provětrávané fasády. In: *G Trade* [online]. Brno: G Trade, 2023 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: <https://www.gtrade.cz/data/filecache/c1/schema-provetravane-fasady.jpg>
- [45] – Ceník stavebních prací pro rok 2023 [online]. RTS Data [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [http://www.cenovasoustava.cz/dok/ceny/thu\\_2023.html](http://www.cenovasoustava.cz/dok/ceny/thu_2023.html) (cena 2580/m<sup>2</sup>)
- [46] – Ceník řemesel [online]. Daibau [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://www.daibau.cz/ceny/odvetravana\\_fasada](https://www.daibau.cz/ceny/odvetravana_fasada) (cena 4500/m<sup>2</sup>)
- [47] – Schéma – Ing. Olga Rubinová, PhD.
- [48] – [LIENHARD, John H. a John H. LIENHARD. *A heat transfer textbook*. Fifth Edition. Mineola, New York: Dover Publications, [2019]. ISBN 9780486837352.]
- [49] – An image of the surface of titanium components. In: CERN [online]. Switzerland: G. Arnau Izquierdo, 2013 [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: [https://home.cern/sites/default/files/2018-06/wamas-pic\\_1.jpg](https://home.cern/sites/default/files/2018-06/wamas-pic_1.jpg)
- [50] – MA, Yuzhao, Jiaqi LIU, Nan CHEN, Huiliang GAO a Xinglong XIONG. Determination of the boundary value of the aerosol extinction coefficient and its effects on the extinction coefficient profile of aerosol in lower atmosphere. *Optik* [online]. 2018, **160**, 283-297 [cit. 2023-01-13]. ISSN 00304026. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijleo.2018.01.116

## Seznam příloh:

- Příloha A: Situační obraz řešené budovy
- Příloha B: Schéma řešených fasád
- Příloha C: Součinitele prostupu tepla konstrukcí
- Příloha D: Výpočet tepelných ztrát
- Příloha E: Výpočet tepelných zisků
- Příloha F: Půdorys VRV systému, M 1:100, formát A1
- Příloha G: Půdorys fasádních systémů, M 1:100, formát A1