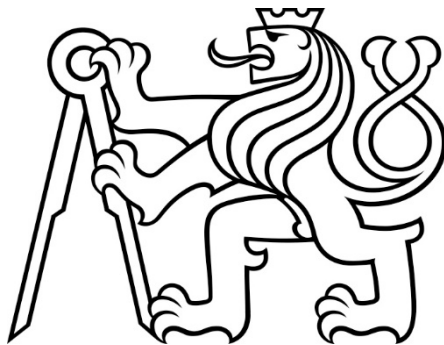


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB**



**Tepelně technické hodnocení detailů Baťovského domku**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vypracovala:**

**Bc. Ljudmyla Široká**

**Vedoucí:**

**Ing. Pavel Kopecký, Ph.D.**

**2020/2021**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Široká Jméno: Ljudmyla Osobní číslo: 458650Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních stavebStudijní program: Budovy a prostředíStudijní obor: Budovy a prostředí - zaměření konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Tepelně technické hodnocení detailů Baťovského domkuNázev diplomové práce anglicky: Hygro-thermal assesment of details in Bata family house

Pokyny pro vypracování:

- 1) Diplomantka vytvoří stručný úvod do problematiky rekonstrukce Baťovského rodinného domku.
- 2) Diplomantka provede zhodnocení vybraných detailů původního návrhu zvoleného typu Baťovského domku. Stacionární výpočtový model bude použit v prvním kroku, některé vybrané detaily budou posléze modelovány v nestacionárním tepelně-vlhkostním modelu (WUFI). U každého detailu bude hodnoceno: množství prostupujícího tepla, riziko kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu a uvnitř detailu, riziko růstu plísní na vnitřním povrchu a riziko degradace dřevěných prvků (pokud je detail bude obsahovat).
- 3) Diplomantka navrhne stavebně technické řešení zlepšující tepelně-technické vlastnosti obvodového pláště (aby pokud možno splňoval současné tepelně technické požadavky) a provede zhodnocení klíčových detailů. Způsob vyhodnocení bude obdobný jako v bodu 2).

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavel Kopecký, Ph.DDatum zadání diplomové práce: 23. 9. 2020Termín odevzdání diplomové práce: 4. 1. 2021*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 4.1.2021

.....

podpis

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Kopeckému, Ph.D. za výborné vedení, odborné rady a trpělivost při tvorbě mé diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a manželovi za podporu.



## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá památkově chráněným dvojdomkem z 20. stol. nacházejícím se ve Zlíně. Tento typ domku je známý jako Baťovský půldomek. Úkolem této práce je určit v jakém stavu je stávající budova a zda může vyhovět současným požadavkům ve vybraných detailech. Vyhodnocení je provedeno pomocí stacionárního výpočtového modelu, a některé vybrané detaily v nestacionárním výpočtovém modelu. Dále je navrženo zateplení obvodového pláště budovy a varianty řešení vybraných detailů. Nakonec výsledky všech metod výpočtů stávajícího stavu a navrhovaného stavu jsou porovnány pomocí teplotního faktoru.

## **Klíčová slova**

Zlín, Baťovský půldomek, dodatečné zateplení, nejnižší vnitřní povrchová teplota, ustálený stav, riziko vzniku plísní, kondenzace, okrajové podmínky, 2D teplotní pole, neustálený stav, optimalizace detailu, dynamická simulace, teplotní faktor.

## **Abstract**

This thesis deals with a semi-detached house which is listed as national landmark from the 20th century located in Zlín. This type of house is known as Baťa semi-detached house. The task of this work is to determine in what condition the existing building is and whether it can meet the current requirements in selected details. The evaluation is carried out using a stationary calculation model, and some selected details in a non-stationary calculation model. Furthermore, insulation of external wall and variants of solutions for selected details are proposed. Finally, the results of all the methods of calculating the current state and the proposed state are compared using the temperature factor.

## **Keywords**

Zlín, Baťa semi-detached house, additional insulation, lowest internal surface temperature, steady state, risk of mold formation, condensation, boundary conditions, 2D temperature field, unsteady state, detail optimization, dynamic simulation, temperature factor.

## Obsah

1. Úvod .....	9
1.1. Historie objektů.....	9
1.2. Úvod do problematiky rekonstrukce Baťovského rodinného domku.....	10
1.2.1. Obecné zásady pro dvojdomek – legislativní hledisko: [7] .....	11
1.2.2. Problematika zateplování .....	14
1.2.3. Problematika vlhkosti.....	14
1.3. Popis objektu.....	15
1.3.1. Umístění objektu.....	15
1.3.2. Výkresové podklady .....	17
1.3.3. Vybrané detaily .....	22
1.4. Cíle práce.....	23
2. Stávající stav .....	24
2.1. Stacionární výpočtový model.....	24
2.1.1. Metody výpočtů .....	24
2.1.2. Vstupní údaje .....	29
2.1.3. Zjednodušení a úpravy .....	30
2.1.4. Výsledky a vyhodnocení.....	31
2.1.5. Souhrn výsledků .....	51
2.2. Dynamický výpočtový model .....	52
2.2.1. Metody výpočtů .....	52
2.2.2. Vstupní údaje .....	54
2.2.3. Zjednodušení a úpravy .....	56
2.2.4. Výsledky a vyhodnocení.....	57
2.2.5. Souhrn výsledků .....	75
2.3. Vyhodnocení výsledků .....	76
2.4. Dílčí závěr .....	76
3. Návrh stavebně technického řešení obvodového pláště.....	77
3.1. Stacionární výpočtový model.....	77
3.1.1. Metody výpočtů .....	77
3.1.2. Vstupní údaje .....	79
3.1.3. Zjednodušení a úpravy .....	79
3.1.4. Výsledky a vyhodnocení.....	80

3.1.5. Souhrn výsledků .....	115
3.2. Dynamický výpočtový model .....	116
3.2.1. Metody výpočtů .....	116
3.2.2. Vstupní údaje .....	116
3.2.3. Zjednodušení a úpravy .....	116
3.2.4. Výsledky a vyhodnocení .....	117
3.2.5. Souhrn výsledků .....	137
3.3. Vyhodnocení výsledků .....	138
3.4. Dílčí závěr .....	139
4. Závěr .....	140
Příloha č. 1. Použité materiály .....	152
Příloha č. 2. Výběr vhodného tepelněizolačního materiálu.....	160
Příloha č. 3. Výpočet součinitele tepelné vodivosti vzduchových dutin .....	162
Příloha č. 4. Průměrné měsíční teploty v zemině .....	164

## Seznam použitých veličin

ZNAČENÍ	VELIČINA	JEDNOTKA
$c$	Měrná tepelná kapacita	J/(kgK)
$d$	Tloušťka konstrukce	m
$R$	Tepelný odpor	m <sup>2</sup> K/W
$R_{si}$	Odpor na přestupu tepla na vnitřní straně	m <sup>2</sup> K/W
$R_{se}$	Odpor na přestupu tepla na vnější straně	m <sup>2</sup> K/W
$U$	Součinitel prostupu tepla mezi vnitřním a vnějším prostředím	W/(m <sup>2</sup> K)
$\Phi$	Tepelný tok	W
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	W/(mK)
$\rho$	Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>
$\vartheta$	Teplota	°C
$\vartheta_{si}$	Vnitřní povrchová teplota	°C
$\vartheta_{ai}$	Návrhová teplota vnitřního vzduchu	°C
$f_{Rsi}$	Teplotní faktor vnitřního vzduchu	-
$f_{Rsi,N}$	Požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu	-
$f_{Rsi,cr}$	Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu	-
$\varphi_i$	Relativní vlhkost vzduchu	%
$\psi$	Vypočtený lineární činitel prostupu tepla	W/(mK)
$\psi_N$	Normou požadovaná hodnota lineárního činitele prostupu tepla	W/(mK)
$L$	Vypočtená tepelná propustnost hodnoceným detailem	W/(mK)
$U_j$	Součinitel prostupu tepla $j$ -té dílčí plošné konstrukce	W/(m <sup>2</sup> K)
$l_j$	Délka/šířka/výška $j$ -té konstrukce	m
$\mu$	Faktor difúzního odporu	[-]
$n$	Pórovitost	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]



# 1. Úvod

## 1.1. Historie objektů

Začátkem 90. let 19. století sourozenci Baťovi získali povolení na výrobu obuvi ve městě Zlín. V roce 1894 založili firmu pod názvem „Antonín Baťa“. Po úmrtí nejstaršího sourozence Antonína (zemřel v roce 1908) se vedení firmy ujal Tomáš Baťa. Pro rozvoj města bylo také zásadní, že od roku 1923 až do své smrti při letecké havárii v roce 1932 zastával Tomáš Baťa úřad starosty Zlína. [1]

První regulační plán města Zlín byl navržen v roce 1924 architektem Františkem Lydie Gahurou. Předchozí plán zpracovaný Janem Kotěrou z roku 1915 nelze pokládat za vývojový plán města, jelikož se zabývá pouze blízkým okolím továrny. Čtvrť města Zlín – Letná se dle návrhu architekta Gahury více zastavovala oproti původnímu návrhu Jana Kotěry. Bylo tomu tak z důvodu potřeby navýšení počtu obydlí a zároveň kvůli pracovní vytíženosti zaměstnanců v továrnách. [2] Tomáš Baťa připouštěl bydlení pouze v rodinných domcích. Chtěl zpříjemnit pobyt v továrním městě tak, aby se podobal i pobytu v lázeňském městě. Proto se rozhodl pro výstavbu zahradního města plného zeleně, čistoty a slunce. Jeho cílem bylo dát možnost si zajistit šťastný domov. Byl přesvědčen, že vybuduje město plné zeleně, velkého množství parků a se širokými bezprašnými ulicemi. [3] Zaměstnanci ubytovaní v těchto domcích měli být ovlivněni iluzí o vlastním bydlení. Tím se podpořila jejich závislost na podniku a zároveň se snížila nespokojenost zaměstnanců. [4]



Obrázek 1 - Zálešná v roce 1932 - 33. Stojíme nad Zálešnou VIII., vlevo částečně skryta za stromem „devítka“. Část u řeky ještě nedostavěna, v pozadí Podvesná a Díly. [3]

V roce 1927 založil Tomáš Baťa sesterskou společnost BAPOZ (Baťovy pomocné závody) a v roce 1930 stavební akciovou společnost „Zlín“. Od té doby měla firma Baťa uvolněné ruce pro navrhování a provádění staveb všeho druhu na území ČSR. [3]



Při hledání nejvýhodnějšího tvaru budovy měla největší podíl ve Zlíně především čtvrť Letná, kde se realizovalo hned několik různých typů dělnického obydlí. Vzhledem k rozrůstání podniku nemohla tato čtvrť zůstat jedinou. Proto se ve východní části města a zároveň severně od řeky Dřevnice od roku 1927 rozrůstaly čtvrtě Zálešná a Podvesná. Ve velkém měřítku se zde začala výstavba domku dělnického typu. Tak byl nahrazen předchůdce čtyřdomek novým dvojdomkem. [5] Regulační plán této čtvrti byl vytvořen opět architektem Gahurou v letech 1926 - 1927. Poprvé byla použita tzv. proudová metoda. Dvojdomky v této oblasti se nejdříve realizovaly se sedlovou střechou, o něco později se začaly realizovat i s plochou střechou. Typické pro všechny dvojdomky stále zůstávala dvoupodlažnost a podsklepení. Kromě dvojdomků se stavěly i jednodomky, ty můžeme najít v jižní části čtvrti. K nalezení v této čtvrti jsou taktéž výjimky, několik atypických domků. Hlavním rozdílem této čtvrti od jiných je již zmíněné zastřešení budov. Budovy se sedlovým zastřešením se nacházejí v ulicích č. I - VIII až na některé mezidomky postavené později. Zbytek čtvrti je zastavěn domky s plochou střechou. Dalším charakteristickým rysem této čtvrti je ostění oken a dveří tvořené pomocí bílé vápenopískové cihly, a to u domku se sedlovou střechou. [6]

Ve Zlíně se nachází mnoho lokalit, které jsou součástí národního bohatství a kulturního dědictví České republiky i Evropy. Proto je nutné tyto lokality zachovat v co nejlepším stavu, který bude stále zachovávat specifický vzhled města Zlín. [6]

## 1.2. Úvod do problematiky rekonstrukce Baťovského rodinného domku

Baťovské domky jsou domky se zahrádkou a typickou cihlovou fasádou. Zdivo je většinou tvořené červenou cihlou. Charakteristický je také jejich kubický tvar (platí zejména pro domky s plochou střechou). Pozemky jsou většinou rozděleny živými ploty. Dříve sloužily pro ubytování dělníků Baťovských závodů. Nyní slouží pro běžné bydlení všech společenských vrstev. Tyto domky tvoří typickou Baťovskou zástavbu, která je nyní symbolem Zlína. Zástavba vznikala ve 30. letech minulého století.

Řešená budova se nachází na území městské památkové zóny Zlín (MPZ). Vyhláškou Jihomoravského krajského národního výboru byla prohlášena 20. 11. 1990 za památkovou zónu. Jedná se o jedno z nejdochovalejších míst s typovou architekturou zahradního města v Evropě. Proto jsou stanovena pravidla pro veškeré stavební aktivity. [7]

„Předmětem památkové péče v MPZ dle vyhlášky jsou zejména:

- nemovité kulturní památky
- historický půdorys a jemu odpovídající prostorová a hmotová skladba, městské interiéry včetně povrchu komunikací, historické podzemí (urbanistická struktura s pravidelným rastroem zastavění, respektování přirozené konfigurace terénu)
- panorama zóny a hlavní dominanty v blízkých a dálkových pohledech (celkové vnímání zástavby území MPZ v širších souvislostech)
- objekty dotvářející charakter zóny (architektonický výraz jednotlivých objektů, charakteristické detaily a jejich jednotnost)



- veřejná a vyhrazená zeleň (zachování principu zahradního města)
- ostatní objekty v zóně (nejsou hlavními nositeli památkových hodnot, avšak jejich architektonický výraz doplňuje prostředí MPZ)“ [7]

Památková péče tedy stanovila obecné zásady, které určují, co všechno je nutné při rekonstrukci jednotlivých typů domků dodržet. Určuje také, které části budovy musí být zachovány, které lze zaměnit a co všechno je možné k budově přidat. Bez omezení zůstává pouze dispozice a vnitřní zařízení s podmínkou zachování vnějšího vzhledu.

### 1.2.1. Obecné zásady pro dvojdomek – legislativní hledisko: [7]

#### Přístavby

Je možné je pořídit o výšce jednoho nadzemního podlaží případně podsklepené. Musí být napojena na delší stanu dvojdomeku a nesmí přesahovat přes líc fasády stávajícího domku. Přístavba může být maximálně tak široká, jako polovina stávajícího domku. Původní tvar domku by měl být zřetelný i po dokončení přístavby. Je možné postavit přístavbu i menších rozměrů při dodržení předchozího bodu. Přístavba musí být jednoduchá, aby nezastínila původní budovu, proto by se mělo jednat o kubický tvar, který nebude obsahovat další doplňky jako výklenky, lomy apod. Plochá střecha přístavby může být využita pro realizaci terasy bez trvalého pevného zastřešení. Každá přístavba je posuzována individuálně dle okolností každé budovy.

#### Zateplování

Stěny obvodového pláště je povoleno zateplovat z vnější strany. Při zateplování by se mělo zohlednit umístění oken vůči fasádě, jelikož šířka vnějšího ostění nesmí přesahovat 250 mm. V případě ponechání oken na původním místě je stanovena maximální tloušťka izolantu, což je 100 mm. Zateplení ostění otvorů je povoleno o max. tloušťce 20 mm. Požadavky na zateplení v památkové zóně stanovuje zákon č. 406/2000 Sb., ve kterém je řečeno, že u budov, které jsou kulturní památkou nebo se nacházejí v památkové rezervaci či zóně, nemusí být splněny požadavky na energetickou náročnost budov, pokud by splnění těchto požadavků výrazně změnilo jejich charakter nebo vzhled. U půldomeku je nutné zachovat symetrii, a to tak, že zateplení obou polovin bude provedeno pomocí stejné tloušťky izolantu.

Komínové těleso, jež předstupuje před rovnou fasádu, lze zateplit velmi malou tloušťkou izolantu tak, aby nedošlo ke změně poměrů vůči velikosti domku. Po zateplení fasády musí být komín stále předstoupen před fasádou a jeho profil musí být zachován po celé výšce.

Po zateplení fasády by její vzhled měl být zachován tak, aby působil jako původní fasáda z doby výstavby. V případě omítaných budov bude fasáda opět omítnutá a v případě budovy s pohledovým režným zdívem je nutné použít obklad z keramického cihelného pásku. Struktury omítek i barevné odstíny fasád by se měly shodovat s původním vzhledem fasády. U dvojdomeku by se měly barevné odstíny shodovat u obou polovin. Stejně zásady se týkají i nových přístaveb, které by se měly shodovat s původním domkem.



### Obklad keramickým cihelným páskem

Tento pásek by měl být o rozměrech 290x65 mm přípustný je ale také 250x65 mm. Barevný odstín by měl odpovídat přírodnímu pálenému střepu a spárování v přírodně šedivém odstínu cementu. Spárování nesmí být v bílé barvě. Ostění oken a dveří musí být taktéž obloženo stejným cihelným páskem. Cihelným páskem musí být obložena jak původní budova, tak i případná přístavba. Není povoleno použít kterýkoli jiný obklad imitující režné zdivo, pouze stanovený obklad z keramického cihelného pásku. Pro imitaci cementopískové bílé cihly použité na ostění oken a dveří u některých budov je možné použít keramický cihelný pásek v lomené bílé barvě.

### Sokly domů

Jedná se o typický znak režného zdiva, u kterého je nutno zachovat jeho vzhled i po zateplení budovy. Sokl bude proveden o původní výšce a s povrchovou úpravou se strukturou a barvou betonu.

### Překlady nad stavebními otvory

Jedná se o charakteristický prvek nad otvory v domcích z režného zdiva. Překlady byly z betonu a na fasádě byly přiznané. Je nutné tento prvek zachovat i po zateplení fasády. Imitaci překlady je možné provést pomocí cementové omítky v přírodním šedém odstínu nebo pomocí hladké omítky v barvě odpovídající betonu. Toto platí i pro otvory v případné přístavbě. Některé budovy mají překlad řešený pomocí cihel kladených svíse. V tomto případě jsou dvě možnosti, buď se nadokenní detail vyřeší totožně, ale musí se prokázat původní řešení, nebo se může provést imitace betonového překlady.

### Komíny

Komínové těleso, jež předstupuje před rovnou fasádu, musí být zachováno po celé své výšce i přes to, že není funkční. Komínové těleso musí být zatepleno velmi malou tloušťkou izolantu, a to max. 30 mm pro boční strany, aby nedošlo ke změně poměrů vůči velikosti domku. Po zateplení fasády musí být komín stále předstoupen před fasádou a jeho profil musí být zachován po celé výšce. Nerezové komíny na vnějším líci fasády je možné pořizovat, ale posuzují se individuálně.

### Okna a balkonové dveře

Ve stávající budově půldomku jsou povolena pouze svislá okna o rozměrech cca 1050x1500 mm, přičemž se musí zachovat jejich poloha. Zazdívání otvorů není povoleno. Obecně nejsou povoleny nové okenní otvory. Výjimku tvoří pouze obnovení původních okenních otvorů a vytvoření nového otvoru ve 2.NP na delší straně fasády poloviny dvojdokmu jako třetího okna směrem k přístavbě. Podmínkou je provedení přístavby v dané části půldomku. Otvor musí být proveden o stejné výšce a ve stejné výškové poloze jako stávající okenní otvory.





Pořízení balkonových dveří ve stávající budově je možné pouze ve dvou případech. Prvním je přístup na terasu nacházející se na ploché střeše přístavby v úrovni 2.NP. Druhým případem je propojení zahrady s bytem v úrovni 1.NP. Pořízení těchto dveří je možné pouze v místě existujícího okna a to tak, že se vybourá parapetní zdivo a zachová šířka otvoru cca 1050 mm. Ve 2.NP lze tento otvor vytvořit zcela nový, ale pouze jako třetí otvor. Pravidla pro vytvoření nových balkonových dveří jsou totožná s pravidly pro vytvoření nového okenního otvoru. Balkonové dveře by měly být prosklené s tzv. vídeňskou mřížkou vyčnívající před rovinu zasklení, která bude napodobovat původní okno. Dveře budou obsahovat nejlépe dva vodorovné profily mřížky. Jeden by se měl nacházet ve výšce ventilačního křídla původního okna a druhý ve výšce parapetu původního okna. Barevnost oken a dveří musí být bílá a zasklení čiré. V sociálních zařízeních 1.NP je přípustné mléčné sklo.



Obrázek 2 – tzv. vídeňská mřížka [19]

#### Vstupní dveře

Vchodové dveře by měly být dřevěné dle původního provedení se shodným dělením. Přípustí se použití dveří plastových či kovových. Maximální šířka dveřního křídla smí být 100 cm. Minimálně jedna čtvrtina plochy dveří musí být plná. Barevnost smí být buď bílá nebo přírodního vzhledu dřeva.

#### Stříška nad vstupními dveřmi

Stříška bude s minimálním spádem od fasády. Maximální vykonzolování stříšky bude 1 m. Stříška smí zasahovat z každé strany max. 15 cm za líc dveřního otvoru, maximální šířka stříšky je tedy 1,3 m. Stříška musí být konstrukčně řešena jako konzola, není přípustná svislá podpora. Materiálově nesmí být stříška ze dřeva, plastu a nesmí mít obloukový tvar.

#### Venkovní schodiště k hlavnímu vstupu

Schodiště k hlavnímu vstupu je posuzováno individuálně. Schodiště má být v lepším případě souběžné fasádou domu, případně kolmé k fasádě. Šířka schodišťového ramene může mít maximálně šířku dveřního otvoru rozšířenou na každé straně o 15 cm. Primárně má být použit železobeton, případně kovové schodiště v barvě betonu.

#### Výměna střešní krytiny, úpravy střech

Stávající střešní krytinu sedlové střechy je možno vyměnit za plechovou (falcovaný plech) nebo za čtvercové vláknocementové šablony. Plechová střešní krytina může mít barvu červenou (RAL 3016) nebo barvu zinku. Šablony mohou mít barvu šedou (RAL 9006), šedočernou nebo červenou (RAL 3016). Nepřípustná je skládaná střešní krytina vč. imitace pomocí plechu.



### 1.2.2. Problematika zateplování

Hlavním cílem zateplování stávajících budov je snížení energetické náročnosti budovy. Důležité je minimalizovat náklady na vytápění při minimalizaci nákladů na zateplení.

Zateplení budovy je vázáno legislativními požadavky např. na součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Při zateplení zvolené památkově chráněné budovy je nutné splnit požadavky památkové ochrany, viz kap. 1.2.1.

Použití vnitřního zateplení není omezeno památkovou ochranou, ale spíše problematikou vnitřního zateplení obecně. Použití tohoto systému je na úkor užité plochy místností. Dochází totiž k jejímu zmenšování. Dále je vnitřní zateplení zatíženo komplikovaným řešením všech detailů navazujících na venkovní prostředí. Při neodborném provedení může docházet ke kondenzacím uvnitř konstrukce a následně k její degradaci.

### 1.2.3. Problematika vlhkosti

Vzlínání zemní vlhkosti může být problematické při absenci nebo chybném provedení hydroizolační vrstvy. Pokud je podezření, že zemní vlhkost v konstrukci vzlíná z podloží, je nutné provést průzkum. Na základě výsledků průzkumu se přistupuje k invazivním nebo neinvazivním opatřením.

Při špatném návrhu či provedení zateplovacího systému je možné, že uvnitř konstrukce bude docházet ke kondenzaci vodních par a následnému hromadění vody. Tohoto nežádoucího jevu je nutné se vyvarovat.

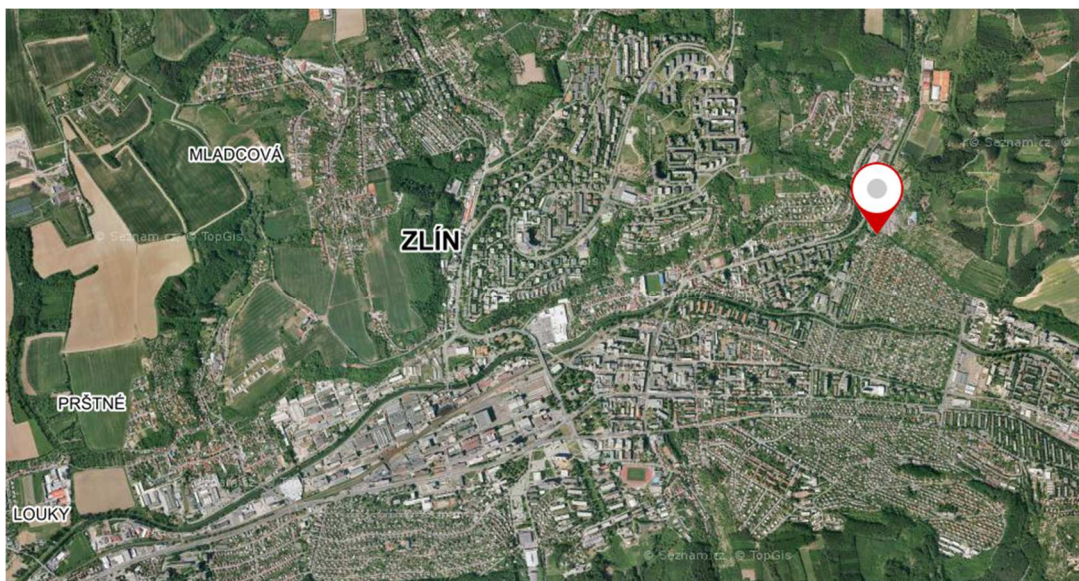
Při absenci či nedostatečné tloušťce tepelného izolantu nebo špatně provedeného detailu může vnitřní povrchová teplota klesnout pod teplotu, při níž může vznikat riziko tvorby plísní nebo kondenzace.



## 1.3. Popis objektu

### 1.3.1. Umístění objektu

Řešený objekt se nachází ve Zlíně, severovýchodně od centra města. Spadá pod katastrální území Zlín. Objekt se nachází na konci ulice Zálešná II. s popisným číslem 36 na jihovýchodní straně od komunikace. Budova se nachází v neoplocené zahradě, kterou na západní a severní straně obklopuje komunikace. Na východní a jižní straně je objekt obklopen budovami a pozemek opticky oddělený stromy. Budovy nacházející se ve stejné ulici, až na některé výjimky, jsou stejného nebo podobného typu, jako je řešený objekt. Severně od řešené budovy se nachází komplex garáží. Poblíž objektu protéká Fryštácký potok. Objekt leží na parcele č. st. 1179 a spadá pod památkově chráněná území. [8]



Obrázek 3 - poloha objektu ve městě Zlín [9]



Obrázek 4 - poloha objektu na katastrální mapě [8]





Památková péče upravuje pomocí regulačního plánu možnost případných přístaveb a nástaveb pro každý jednotlivý objekt. V případě řešené budovy není dle regulačního plánu zobrazeného níže povolena jakákoli přístavba nebo nástavba.



Obrázek 5 - regulační plán obytné zóny Zálešná [7]



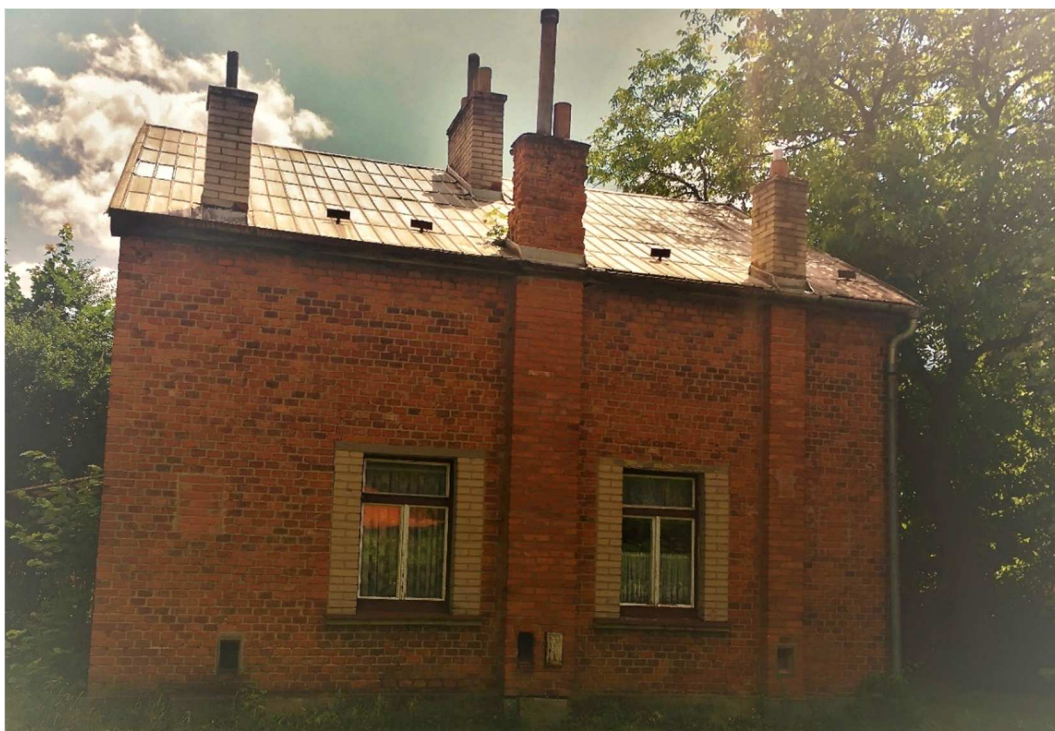
### 1.3.2. Výkresové podklady

Podkladem pro diplomovou práci je výkresová dokumentace, ve které je zanesen současný stav budovy. Nejedná se o dokumentaci, dle které se budova postavila, nýbrž pasport domu. Z výkresů je možné vyčíst plochy jednotlivých místností, základní rozměry konstrukcí, materiálové řešení nebo také skladby konstrukcí.

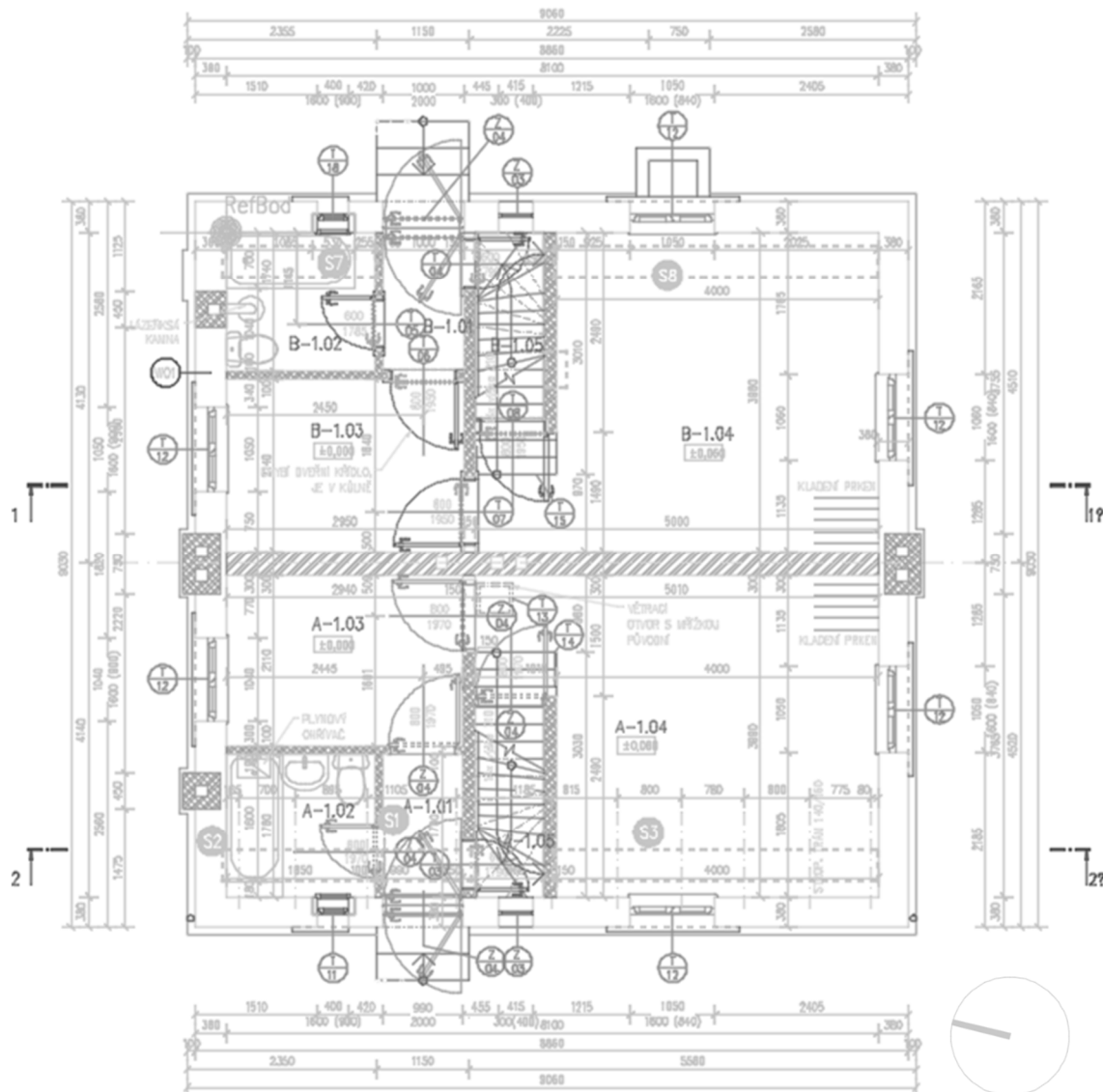
Budova je tvořena dvěma nadzemními podlažími a je částečně podsklepená. Budova je rozdělena na dvě dispozičně stejné zrcadlové bytové jednotky. Mezibytová příčka je pnutá mezi jižní a severní fasádou. Vstupy do bytových jednotek jsou oddělené a nachází se na protilehlých fasádách.

Svislé nosné konstrukce jsou tvořeny zděnou stěnou z cihel plných pálených o tl. 380 mm. Ostění okenních a dveřních otvorů je vyzděno vápenopískovou cihlou. Jedná se o charakteristický prvek řešeného typu domku. Nosné konstrukce jsou založeny na betonových základových pasech o šířce zdiva. Kolem celé budovy je v místě soklu provedeno ztužení původní základové konstrukce. Toto dodatečné ztužení je provedeno z železobetonu lichoběžníkového tvaru s mírným sklonem od fasády. Tento betonový sokl je dalším charakteristickým prvkem řešené budovy.

Stropní konstrukce je tvořena dřevěnými trámy o rozměrech 160x140 mm s osovým rozpětím od 700 do 1185 mm. Uložené jsou do kapes ve zdivu na východní a západní obvodové konstrukci. Strop nad podsklepenou částí je tvořen železobetonovou deskou o tl. 100 mm. Podlaha na terénu je z betonové mazaniny o tl. 100 mm. Překlady nad otvory jsou železobetonové o rozměrech 120x150 mm. Nad každým otvorem se nachází dva překlady, z toho jeden předstupuje před úroveň fasády. Přiznaný překlad je taktéž charakteristickým prvkem řešené budovy.



Obrázek 6 – foto severní fasády budovy z osobní prohlídky dne 23.6.2020



### LEGENDA MATERIÁLŮ

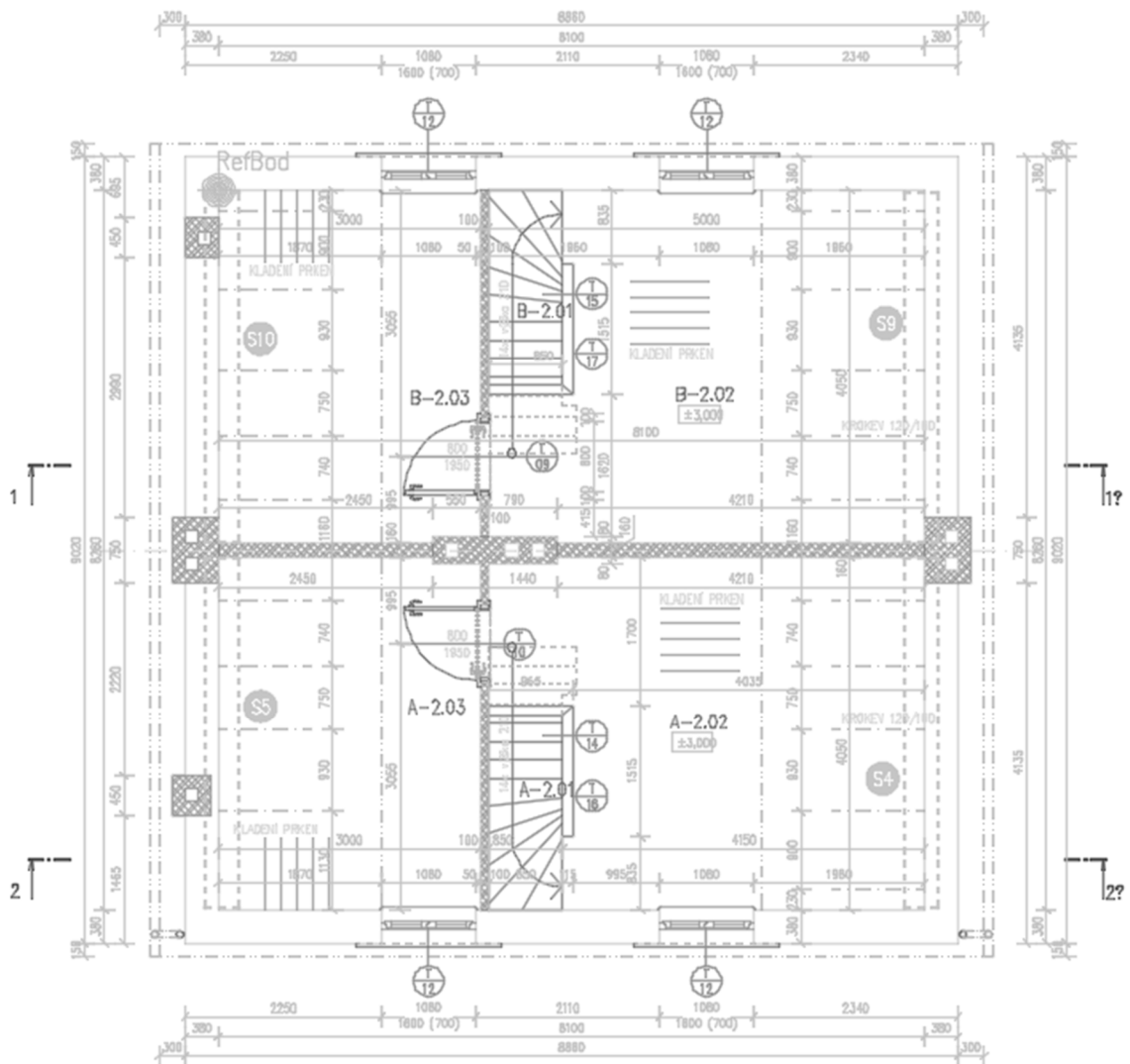
	STÁVAJÍCÍ NOSNÉ OBVODOVÉ ZDIVO Z CPP
	PŘÍČKY Z CIHEL PP
	PŘÍČKY Z CIHEL PP
	PŮVODNÍ ROSTLÁ ZEMINA
	ZEMNÍ ZÁSYP
	ŽELEZOBETON
	KVH ŘEZIVO
	BETON PROSTÝ
	OZNAČENÉ PRVKY NEJSOU PŮVODNÍ
	OZNAČENÍ A POLOHA SOND

### LEGENDA MÍSTNOSTÍ

ČÍSLO	NÁZEV MÍSTNOSTI	PL (m <sup>2</sup> )	SV (m)	PODLAHA	STĚNY	STROP	POZNAMKA
A-1.01	CHODBA	1,76	2,750		OMÍTKA	OMÍTKA	
A-1.02	KOUPELNA	3,29	2,750		OMÍTKA	OMÍTKA	
A-1.03	KUCHYNĚ	6,20	2,750		OMÍTKA	OMÍTKA	
A-1.04	OBÝVACÍ POKOJ	16,93	2,690	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
A-1.05	SCHODIŠTĚ	2,69		SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
B-1.01	CHODBA	1,76	2,750	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	DIGESTOR PŘES FASÁDU
B-1.02	KOUPELNA	3,29	2,750	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	NUCENÉ ODVĚTRÁNÍ EL. VENTILÁTOR
B-1.03	KUCHYNĚ	6,20	2,750	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	NUCENÉ ODVĚTRÁNÍ EL. VENTILÁTOR
B-1.04	OBÝVACÍ POKOJ	16,93	2,690	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	NUCENÉ ODVĚTRÁNÍ EL. VENTILÁTOR
B-1.05	SCHODIŠTĚ	2,69		SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	NUCENÉ ODVĚTRÁNÍ EL. VENTILÁTOR

Obrázek 7 - půdorys 1.NP řešeného dvojdomku [10]





### LEGENDA MATERIÁLŮ

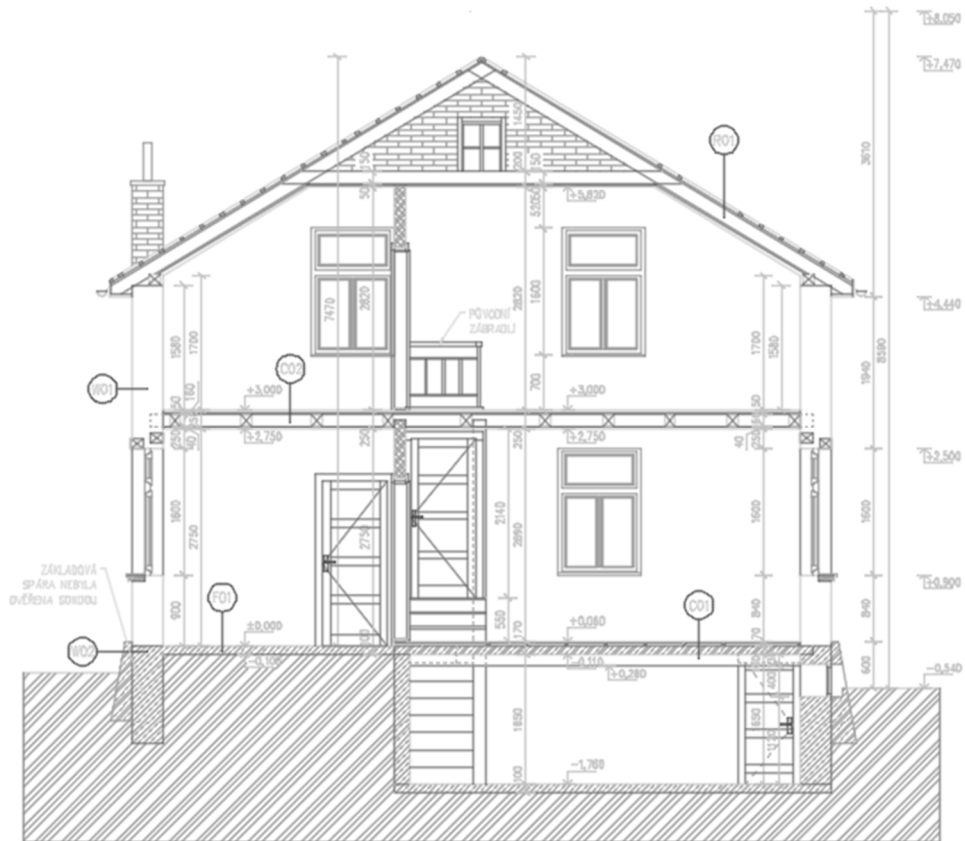
	STÁVAJÍCÍ NOSNÉ OBVODOVÉ ZDIVO Z CPP
	PŘÍČKY Z CIHEL PP
	PŘÍČKY Z CIHEL PP
	PŮVODNÍ ROSTLÁ ZEMINA
	ZEMNÍ ZÁSYP
	ŽELEZOBETON
	KVH ŘEZIVO
	BETON PROSTÝ
	OZNAČENÉ PRVKY NEJSOU PŮVODNÍ
	OZNAČENÍ A POLOHA SOND

### LEGENDA MÍSTNOSTÍ

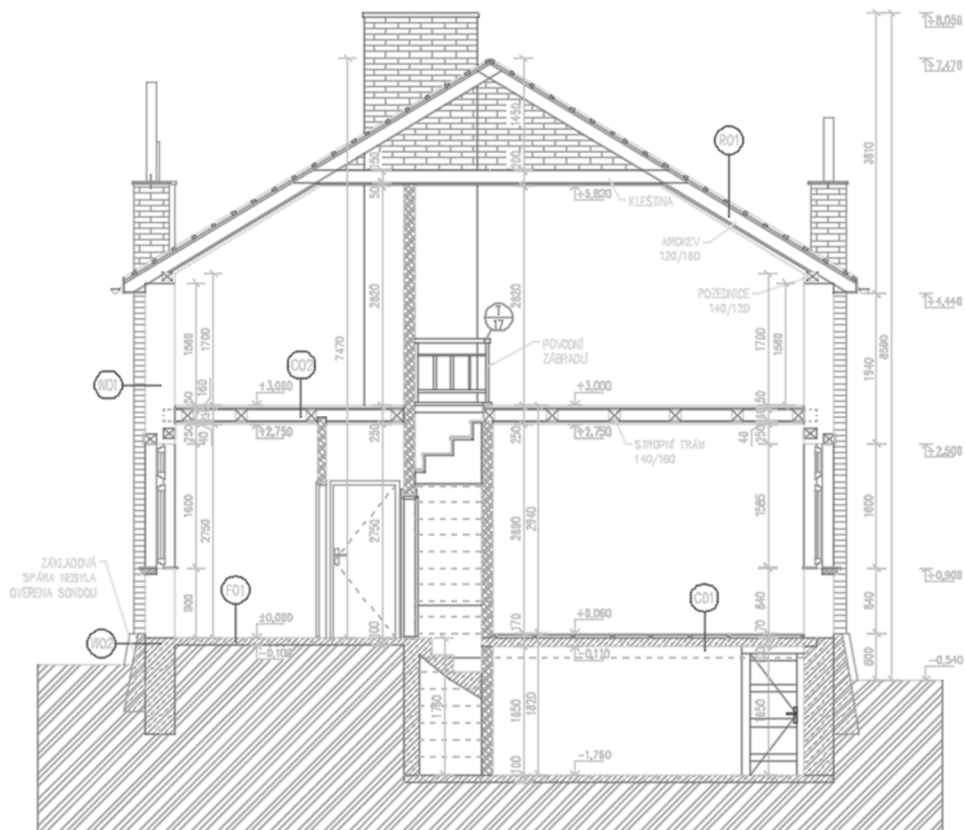
ČÍSLO	NÁZEV MÍSTNOSTI	PL (m <sup>2</sup> )	SV (m)	PODLAHA	STĚNY	STROP	POZNÁMKA
A-2.01	SCHODIŠTĚ	1,90		SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
A-2.02	LOŽNICE	18,29	2,820	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
A-2.03	LOŽNICE	12,11	2,820	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
B-2.01	SCHODIŠTĚ	1,90		SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
B-2.02	LOŽNICE	18,29	2,820	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	
B-2.03	LOŽNICE	12,11	2,820	SMRKOVÉ PRKNO	OMÍTKA	OMÍTKA	



Obrázek 8 - půdorys 2.NP řešeného dvojdomku [10]



Obrázek 9 - řez 1-1? řešeným objektem [10]



Obrázek 10 - řez 2-2? řešeným objektem [10]





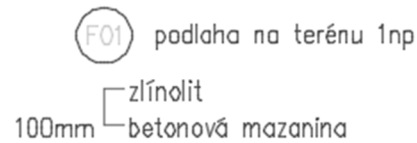
## Stěna



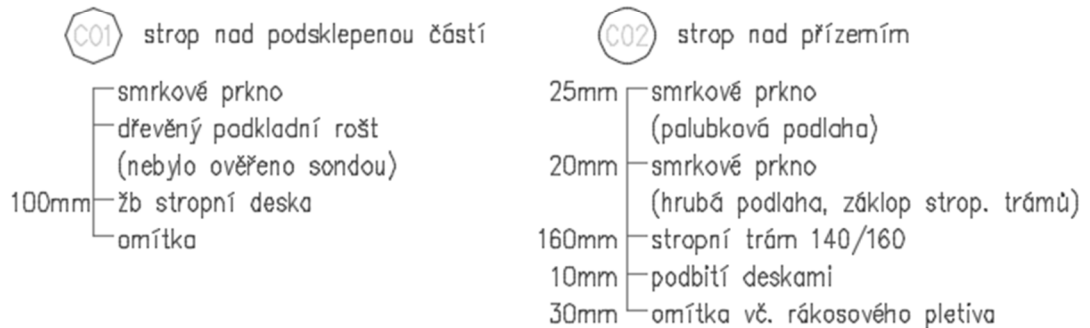
## Střecha



## Podlaha



## Strop



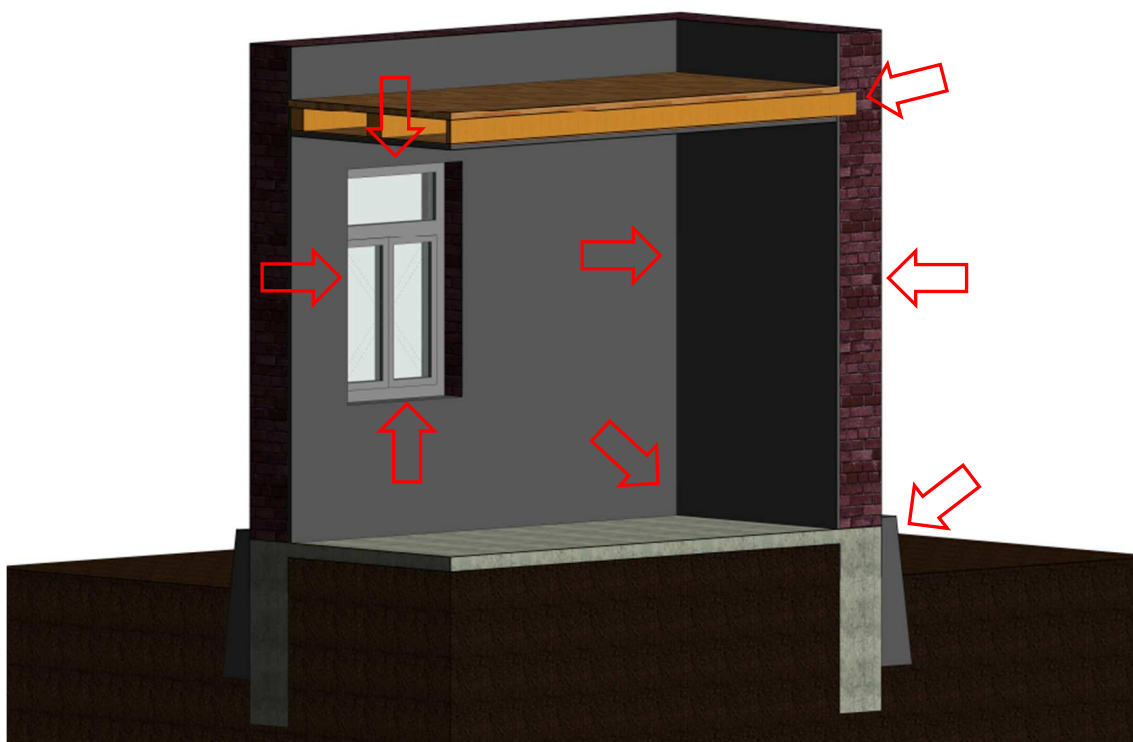
Obrázek 11 – stávající skladby konstrukcí řešeného objektu [10]



### 1.3.3. Vybrané detaily

Řešená budova je specifická tím, že na přestavbu a zateplení jsou kladeny požadavky památkové ochrany. Největší důraz se klade na co nejuvěrnější zachování původního vzhledu budovy. Především tedy na fasádu, velikost a členění okenních otvorů a zachování poměrů viditelných hran. Musí se také zachovat všechny charakteristické prvky na fasádě. Je zde tedy velký potenciál ke zkoumání, zda je pro daný typ budovy vhodnější vnější či vnitřní zateplení. Detaily jsou vybírány s ohledem na návaznost fasády. Bohužel z časových důvodů nebylo možné řešit více detailů, než je níže uvedeno.

V první řadě je řešena skladba stěny, následně jsou vybrány charakteristické detaily v návaznosti na obvodovou konstrukci. Detaily jsou také vybírány s ohledem na vysoké riziko tvorby plísní a kondenzace. Vybrané detaily jsou vyznačeny na následujícím obrázku kromě jednoho, a to komína.



Obrázek 12 – schéma se znázorněním řešených detailů

#### Seznam řešených detailů:

1. Stěna
2. Detail koutu
3. Detail soklu 2D a 3D
4. Detail parapetu
5. Detail nadpraží
6. Detail ostění
7. Detail komína
8. Detail trémového zhlaví



## 1.4. Cíle práce

Diplomová práce se zabývá památkově chráněným dvojdomkem z 20. stol. nacházejícím se ve Zlíně. Tento typ domku je známý jako Baťovský půldomek.

Tato práce se zaměřuje na zjištění, v jakém stavu je stávající budova. Předpokládá se, že stávající řešení konstrukcí je nevyhovující a budova je zatížena rizikem tvorby plísně, případně kondenzací na vnitřním povrchu z důvodu nízkých povrchových teplot. Zda v budovách podobného typu skutečně dochází k tvorbě plísní nebo kondenzaci vodních par, není zjišťováno. Takovýto průzkum je nad rámec zadání diplomové práce. Zároveň toto nebylo možné vykonat z důvodu umístění budov a současné situace ohledně pandemie. V řešené budově v současné chvíli není možné říct, jaké případné další poruchy nastávají, neboť je již několik let neobydlená. Ve výpočtech se předpokládá fungující obydlená budova, a proto je uvažováno s vytápěným vnitřním prostředím.

Ve stávajícím stavu ve vybraných detailech je tedy zjišťováno, zda konstrukce splňuje požadavky dle normy ČSN 73 0540-2. Norma stanovuje kritickou hodnotu teplotního faktoru pro riziko tvorby plísní, pod kterou nesmí klesnout. Dále je zjišťováno, zda uvnitř konstrukce nedochází ke kondenzaci vodních par. Pokud ano, jestli nepřekračují povolený limit. Dále je také stanoven tepelný tok skrz detail a následně taktéž vyhodnocen, zda je vyhovující.

Pokud jsou vybrané detaily ve stávajícím stavu nevyhovující, jsou provedeny návrhy řešení ve variantách. Opět je zde zjišťováno, zda může docházet k riziku tvorby plísní a jestli bude vodní pára kondenzovat uvnitř detailů nebo na povrchu. Vhodnost detailu se vyhodnotí také podle množství prostupujícího tepla.

Vyhodnocení detailů probíhá ve stacionárním výpočtovém modelu, některé vybrané detaily v nestacionárním výpočtovém modelu. Obě metody výpočtů jsou zvoleny z důvodu porovnání výsledků z výpočtů. Normou ČSN 73 0540-2 je zároveň povoleno použití pokročilejší metody výpočtů dle normy ČSN EN 15026 k posouzení stavebních konstrukcí v dynamickém výpočtovém modelu. Výpočty v ustáleném stavu jsou více teoretické a nezahrnují všechny vlastnosti materiálu a venkovní vlivy. V řešeném typu budovy, kde je zdivo vystaveno vnějším vlivům bez jakékoli ochrany se předpokládá vliv deště a dalších materiálových vlastností závislých na čase. Tyto vlivy by se mohly projevit na teplotním poli, na vnitřní povrchové teplotě nebo také na celkovém vlhkostním stavu konstrukce. Tyto jevy lze zohlednit pouze v neustáleném stavu. Pokud tedy výsledky výpočtu pomocí dynamického výpočtového modelu splňují požadavky, je detail vyhovující i přes to, že v ustáleném stavu požadavky splněny nejsou.

V ustáleném stavu je vyhodnocení detailu provedeno pomocí vnitřní povrchové teploty. V dynamickém výpočtovém modelu je vyhodnocení provedeno především dle relativní vlhkosti na vnitřním povrchu. Zároveň je provedeno vyhodnocení pro povrchovou teplotu dle normy.

Porovnání všech výsledků z ustáleného a dynamického výpočtového modelu je provedeno pomocí teplotního faktoru.



## 2. Stávající stav

Cílem této kapitoly je zjistit v jakém tepelně technickém stavu je stávající konstrukce řešeného objektu. Je zjišťováno, zda konstrukce může vyhovět současným požadavkům, a zda je nutné konstrukci dále řešit z tepelně technického hlediska. Výpočty jsou provedeny pomocí dvou metod, pomocí stacionárního a nestacionárního výpočtového modelu.

Pro přesnější simulaci stávajícího stavu je nejlepší mít odebrané vzorky a provedené zkoušky materiálů. Bohužel tyto úkony nejsou v této diplomové práci provedeny. Důvodem je časová náročnost provedení zkoušek a odběrů. I z toho důvodu, že řešená budova se nachází na opačné straně republiky. Zároveň se jedná o úkon, který je mimo rozsah práce. Proto materiálové vstupy jsou odhadovány na základě zkušeností.

### 2.1. Stacionární výpočtový model

Stacionární stav neboli ustálený stav (také rovnovážný stav) je takový, kdy ve výpočtu nedochází ke změně okrajových podmínek v čase. Na konstrukci působí neustále stejné teploty, relativní vlhkosti a také nedochází ke změnám materiálových vlastností. Teplota konstrukce v jednotlivých bodech je také neměnná. Jde o předpoklad zjednodušující tepelně technické hodnocení stavebních konstrukcí, který neodpovídá skutečnosti, ale běžně se používá v praxi.

#### 2.1.1. Metody výpočtů

Výpočtové tepelně vlhkostní modely detailů ve stacionárním stavu jsou modelovány pomocí několika softwarů. Teplo 2017 pro výpočet 1D skladeb a posouzení z hlediska prostupu tepla a vodní páry. Area 2017 pro výpočet 2D detailů a posouzení z hlediska dvourozměrného vedení tepla a vodní páry. Cube3D 2017 pro výpočet 3D detailů a posouzení z hlediska trojrozměrného vedení tepla a vodní páry. Meshgen Area 2018 doplňující software pro přípravu vstupních dat detailu s obecně křivočarými hranicemi oblastí pro software Area 2017. Jedná se o studentské licence těchto softwarů, případně je použita plná licence na školních zařízeních pomocí vzdáleného přístupu k učebnám. Každý detail je specifický, a proto pro jednotlivé detaily jsou vhodné různé způsoby modelování. Většina detailů je vymodelována pomocí 2D výpočtových modelů. Pro jednoduchou simulaci obvodové stěny je použit 1D model, který odpovídá jeho řezu.

#### Hodnocené parametry:

- Riziko kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu
  - Jedná se o nežádoucí jev na vnitřním povrchu konstrukce. Je závislý především na množství vodní páry obsažené ve vzduchu k povrchu přiléhajícím. Množství vodní páry je také charakterizováno relativní vlhkostí vzduchu, která je závislá na teplotě vzduchu. Pokud povrchová teplota konstrukce klesne pod teplotu rosného bodu (teplota, při které relativní vlhkost vzduchu dosáhne  $\varphi_i = 100 \%$  a vzduch je vodní párou plně nasycen) dochází ke kondenzaci vodních par na povrchu konstrukce.
  - Teplota rosného bodu je stanovena pomocí pomocného výpočtu v softwaru Area 2017 EDU dle požadavků ČSN 730540-2. Po dosažení všech potřebných okrajových podmínek (viz kapitola 2.1.2. *Vstupní údaje*) je teplota rosného bodu stanovena  $T_w = 9,53 \text{ °C}$



- Riziko růstu plísně na vnitřním povrchu
  - Podobně jako kondenzace vodní páry na povrchu je i tento jev nežádoucí. Jeho vzniku předchází stejné faktory jako u kondenzace. Riziko nastane při povrchové teplotě, při které relativní vlhkost vzduchu překročí  $\varphi_i = 80\%$ . Tato teplota se stanovuje pomocí teplotního faktoru vycházejícího z okrajových podmínek dle normy ČSN 730540-2. Pro výplně otvorů či kovové konstrukce se připouští povrchová relativní vlhkost  $\varphi_i = 100\%$ .
  - Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $\vartheta_{ai}$  pro určení kritické vnitřní povrchové teploty je stanovena dle normy ČSN 73 0540-3, kde návrhová vnitřní teplota  $\vartheta_i$  je zvýšena přírážkou na vyrovnání rozdílu mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch  $\Delta\vartheta_{ai}$ , která je stanovena orientačně z přílohy normy I.2. jako 2,0 K pro typ budovy dokončený do roku 1975 s původními nesanovanými konstrukcemi, který je vytápěný radiátory. V pomocném výpočtu je tedy počítáno s hodnotou  $\vartheta_{ai} = 22,0\text{ °C}$
  - Návrhová relativní vlhkost vnitřního prostředí v zimním období se uvažuje  $\varphi_i = 50\%$ . Relativní vlhkost vnitřního prostředí  $\varphi_{i,r}$  pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce se pro stavební konstrukce stanoví vztahem [11]:

$$\varphi_{i,r} = \varphi_i - 10 + \Delta\varphi_i \quad (1)$$

Kde  $\Delta\varphi_i = 5\%$  a je bezpečnostní přírážkou podle ČSN EN ISO 13 778 nebo dle ČSN 73 0540-3 tabulka I.3 – Bezpečnostní vlhkostní přírážka. Relativní vlhkost pro stanovení požadavku je tedy  $\varphi_{i,r} = 45\%$ .

- Tato teplota je taktéž stanovena pomocným výpočtem softwaru Area 2017 EDU dle požadavků ČSN 730540-2. Po dosažení všech potřebných okrajových podmínek je teplota stanovena  $T_p = 12,89\text{ °C}$ .
- Riziko kondenzace vodní páry uprostřed detailu
  - Jedná se o další nežádoucí jev, pro který jsou požadavky stanoveny normou ČSN 73 0540-2. Konstrukce, u kterých by zkondenzovaná vodní pára ohrozila jejich funkci, není kondenzace přípustná. Pokud zkondenzovaná vodní pára neohrožuje funkci konstrukce, je kondenzace přípustná za určitých podmínek.
    - V roční bilanci kondenzace a vypařování nesmí v konstrukci zůstat žádná zkondenzovaná vodní pára. Na konci modelového roku musí platit  $M_{c,a} = 0\text{ kg/m}^2$ .
    - Množství zkondenzované vodní páry za rok nesmí přesahovat limit [11]
      - $M_{c,a,N} = 0,10\text{ kg/(m}^2\cdot\text{a)}$  nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot) pro jednoplášťové střechy, pro konstrukce s dřevěnými prvky, pro konstrukce s kontaktním zateplením a pro další konstrukce s málo propustnými vnějšími vrstvami
      - $M_{c,a,N} = 0,50\text{ kg/(m}^2\cdot\text{a)}$  nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot) pro ostatní stavební konstrukce.
- Riziko degradace dřevěných prvků
  - Maximální přípustná hmotnostní vlhkost pro dřevěné prvky je 18 % [11]. Ze sorpční křivky dřeva lze stanovit odpovídající relativní vlhkost vzduchu. Obvykle se jedná o relativní vlhkost  $\varphi_i = 80\%$ . Maximální přípustná hmotnostní vlhkost dřevěných prvků 18 % je stanovena dle ČSN 730540-2/Z1.



- Množství prostupujícího tepla
  - Tato hodnota se bude posuzovat pomocí lineárního činitele prostupu tepla  $\psi$ . Jedná se o charakteristiku tepelně technických vlastností 2D tepelných mostů a vazeb. Požadavky na tuto hodnotu stanovuje norma ČSN 730540-2 v čl. 5.4. Musí být splněna podmínka, že vypočtený lineární činitel prostupu tepla  $\psi$  musí být nižší než normou požadovaná hodnota  $\psi_N$ .

$$\psi \leq \psi_N \quad (2)$$

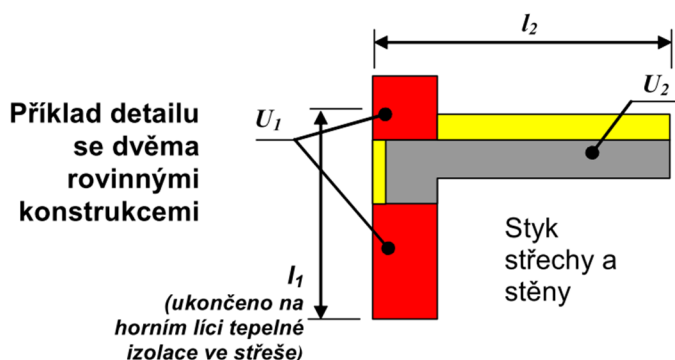
Tabulka 1 - požadovaný lineární činitel prostupu tepla  $\psi_N$  podle ČSN 730540-2 [11]

	Požadované hodnoty $\psi_N$	Doporučené hodnoty $\psi_{rec}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $\psi_{pas}$
	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]
Styk vnější stěny a další konstrukce s výjimkou výplně otvoru (např. styk se základem, stropem, jinou stěnou, střechou, balkonem apod.)	<b>0,20</b>	0,10	0,05
Styk vnější stěny a výplně otvoru (parapet, ostění, nadpraží)	<b>0,10</b>	0,03	0,01
Styk střechy a výplně otvoru (střešní okno, světlík apod.)	<b>0,30</b>	0,10	0,02

Lineární činitel prostupu tepla lze stanovit pro detaily, na které působí dvě okrajové podmínky ze vztahu [12]:

$$\psi = L - \sum U_j * I_j \quad (3)$$

Jedná se o rozdíl celkového tepelného toku tepelnou vazbou ( $L$ ) a tepelných toků přes rovinné konstrukce ( $\sum U_j * I_j$ ).



Obrázek 13 - vzorový model atiky [13]

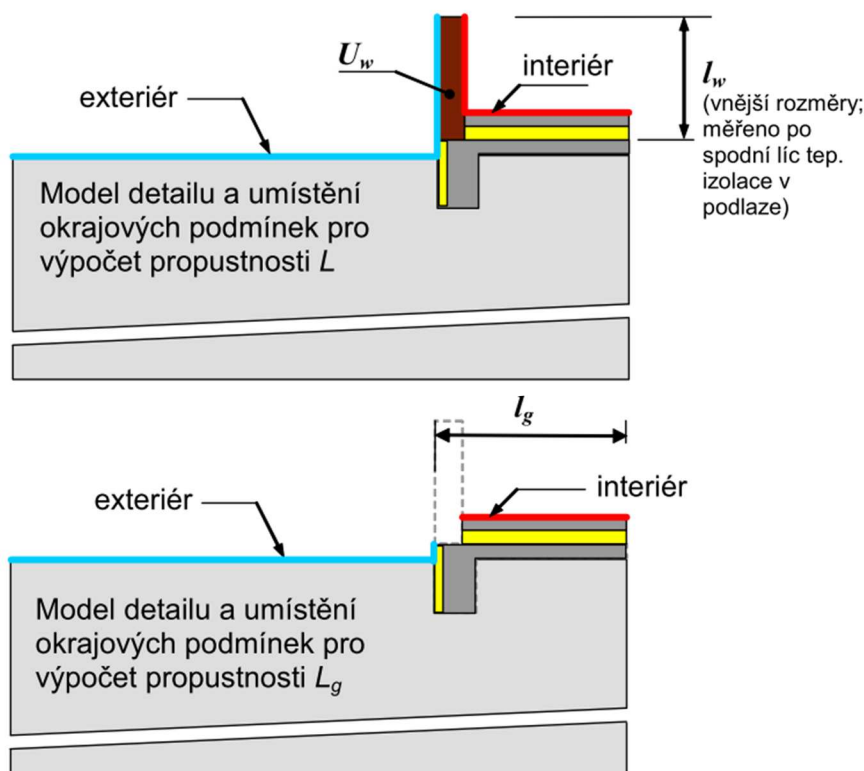
Pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla je nutné stanovit hranici, pro kterou se hodnota stanoví. Tuto hranici lze uvažovat ve dvou různých pozicích, a to pro vnitřní a vnější rozměry konstrukce. Standardně se lineární činitel prostupu tepla stanovuje pro vnější rozměry konstrukce. Hranice vytápěné zóny ve výpočtech energetické náročnosti budovy se také umísťuje na vnějším okraji konstrukce. Ve výpočtech lineárního činitele prostupu tepla se tedy aplikují venkovní rozměry konstrukce.



Hodnocení lineárního činitele prostupu tepla ve styku podlahy na zemině a obvodové stěny se provádí pomocí jiného vztahu a to:

$$\psi = L - U_w * I_w - L_g \quad (4)$$

Kde L je stejně jako v předchozím vztahu tepelná propustnost celým detailem, hodnoty s indexem w jsou vlastnostmi obvodové stěny. L<sub>g</sub> je tepelnou propustností podlahy včetně vlivu zeminy, která se vypočte pro upravený detail bez obvodové stěny viz obrázek 7. Okrajové podmínky se zadávají pouze na vnitřním povrchu podlahy a na vnějším povrchu původní zeminy.



Obrázek 14 - vzorový model soklu [13]

Hodnota L<sub>g</sub> odpovídá součinu šířky podlahy I<sub>g</sub> a jejího součinitele prostupu tepla U<sub>g</sub> stanoveného s vlivem zeminy. Tento postup je nutné použít, jelikož v hodnotě L<sub>g</sub> je projev přenosu tepla mezi venkovním a vnitřním prostředím plochou podlahy včetně účinku zeminy a základu. Jiný postup by pro podobný typ detailu poskytl výsledky zatížené výraznou chybou.

- Součinitel prostupu tepla
  - ověření, zda je dodržena požadovaná hodnota UN,20 je provedeno na skladbě obvodové stěny. Ta je následně použita v detailech.

Tabulka 2 - normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 pro konstrukci obvodové stěny dle ČSN 73 0540-2

Popis konstrukce	Požadované hodnoty UN,20	Doporučené hodnoty Urec,20	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy Upas,20
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12



### Vyhodnocení výsledků:

Porovnání všech výsledků z ustáleného a dynamického výpočtového modelu je provedeno pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$ . Jedná se o bezrozměrnou hodnotu, která vyjadřuje vlastnost detailu. Hodnocení dle teplotního faktoru je vhodným způsobem hodnocení vnitřní povrchové teploty různých metod výpočtů, jelikož není závislý na teplotě přilehlých prostředí. V dynamickém výpočtovém modelu jsou okrajové podmínky proměnné v čase. Pro vyhodnocení teplotního faktoru jsou zvoleny hodinové hodnoty okrajových teplot odpovídající největšímu poklesu teploty na vnitřním povrchu. Pro stanovení teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  platí vztah [11]:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (5)$$

Je nutné, aby detaily v zimním období vykazovaly v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby příslušný teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$  splňoval podmínku [11]:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad \text{kde} \quad f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} \quad (6)$$

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu  $f_{Rsi,cr}$  se stanoví ze vztahu [11]:

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 * \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_e} * \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(\varphi_{i,r}/\varphi_{si,cr})} \quad (7)$$

Kde  $\vartheta_e$  je návrhová teplota venkovního vzduchu a  $\vartheta_{ai}$  je návrhová teplota vnitřního vzduchu stanovená v podkapitole „Riziko růstu plísně na vnitřním povrchu“ výše.

Relativní vlhkost vnitřního prostředí  $\varphi_{i,r}$  pro stanovení kritického teplotního faktoru vnitřního povrchu se pro stavební konstrukce stanoví stejně jako pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce. Relativní vlhkost pro stanovení požadavku je tedy  $\varphi_{i,r} = 45 \%$ .

Kritická vnitřní povrchová vlhkost  $\varphi_{si,cr}$  je vlhkost, která pro danou konstrukci při vnitřním povrchu nesmí být překročena. Pro zamezení rizika růstu plísní na konstrukcích je tato hodnota stanovena  $\varphi_{si,cr} = 80 \%$ .

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu pro stávající stav konstrukce je stanoven hodnotou  $f_{Rsi} = 0,754$ . V grafickém vyhodnocení všech výsledků je tato hodnota zaokrouhlena na dvě desetinná místa, a to na hodnotu  $f_{Rsi} = 0,75$ .





### 2.1.2. Vstupní údaje

Pro stacionární výpočtový model jsou použity návrhové teploty. Vnitřní návrhová teplota je stanovena hodnotou  $\vartheta_i = 20\text{ °C}$  pro obytné místnosti. Řešená budova se nachází ve městě Zlín, proto venkovní návrhová teplota je stanovena dle ČSN 730540-3 hodnotou  $\vartheta_e = -15\text{ °C}$ .

Relativní vlhkost vnitřního prostředí v zimním období je stanovena hodnotou  $\varphi_i = 50\%$  a relativní vlhkost venkovního prostředí hodnotou  $\varphi_e = 80\%$ .

Ve výpočtech detailů obsahujících zeminu (např. sokl) je spodní hrana zeminy modelována pomocí okrajové podmínky. Ta je stanovena v 2 m hloubce dle normy ČSN EN ISO 13 788. Pro výpočet teploty je použita pomůcka z předmětu DRS, který lze nalézt v příloze č.4.

Tepelné odpory při přestupu tepla jsou uvažovány dle normy ČSN EN ISO 6946. Ve výpočtech pro účel ověření normového požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu konstrukce stanoven hodnotou 0,25 [m<sup>2</sup>K/W] dle tabulky J.1 z normy ČSN 730540-3. Pro výplně otvorů a jejich rámy platí hodnoty uvedené v tabulce.

Tabulka 3 - tepelné odpory při přestupu tepla [14]

Povrch	Účel výpočtu	Konstrukce (povrch)	Tepelný odpor při přestupu tepla $R_{se}, R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]
Vnější	Součinitel prostupu tepla, povrchové teploty	Jednoplášťová	0,04
		Dvoupplášťová	Stejně jako $R_{si}$
Zemina		Styk se zeminou	0,00
Vnitřní	Součinitel prostupu tepla, tepelné toky	Horizontální tep. tok (stěna)	0,13
		Tepelný tok vzhůru (střecha)	0,10
		Tepelný tok dolů (podlaha)	0,17

Použité materiály a jejich základní vlastnosti jsou uvedeny v souhrnné tabulce v příloze č. 1.



### 2.1.3. Zjednodušení a úpravy

Ve stacionárním výpočtu jsou zanedbány vlivy větru, deště a slunečního záření na vnější povrch konstrukce.

Materiály jednotlivých vrstev konstrukce jsou vybrány z databáze materiálů softwaru WUFI tak, aby jejich vlastnosti co nejlépe vyjadřovaly současný stav konstrukce, jelikož nejsou známy konkrétní vlastnosti materiálů, ze kterých je řešená budova postavena. Tato databáze je zvolena z toho důvodu, že obsahuje veškeré potřebné údaje i pro následující dynamické výpočty v již zmiňovaném softwaru. Stacionární výpočet (např. software AREA) totiž neuvažuje například se závislosti tepelné vodivosti na vlhkosti apod., proto databáze softwaru pro stacionární výpočet tyto údaje neobsahují.

V případě výpočtu detailů pouze ve stacionárním stavu jsou některé materiály vybírány z databáze softwaru AREA.

Databáze materiálu softwaru WUFI je poměrně chudá. Proto v případě nenalezení vhodného materiálu, je vytvořen nový. Jako základ pro nový materiál je použit některý z existujících materiálů v databázi, který se nejvíce svými vlastnostmi podobá potřebnému materiálu. Jeho vlastnosti jsou dále upraveny tak, aby odpovídaly potřebnému materiálu.

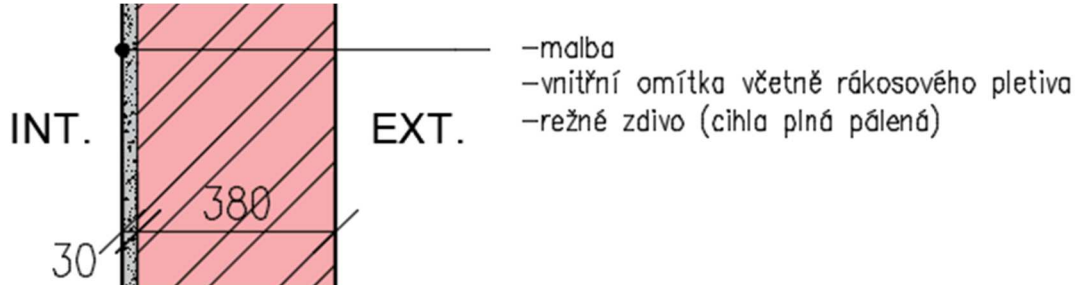
Obvodová konstrukce budovy je tvořena zdivem z cihly plné pálené spojované na maltu. Vlastnosti materiálů nejsou řádově rozdílné, současně ve zdivu převládá cihla. Spáry mezi cihlami jsou tedy ve výpočtech zanedbány. Zdivo je modelováno pouze jednou vrstvou pomocí materiálu cihly.



## 2.1.4. Výsledky a vyhodnocení

### Detail stěny 1D

Cílem tohoto výpočtu je stanovit vlastnosti obvodové stěny ve stávajícím stavu a ověřit, zda je vyhovující.

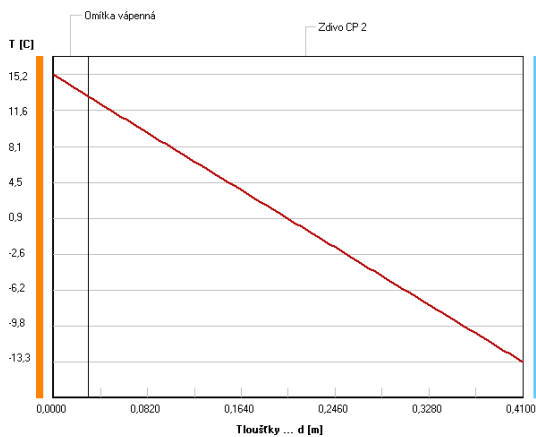


Obrázek 15 - skladba stávající obvodové stěny

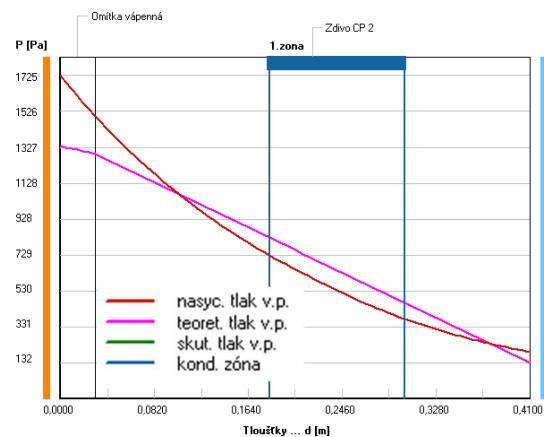
Tabulka 4 - tabulka materiálů skladby stávající stěny

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02

### Výsledky





Graf 1 - průběh teplot konstrukcí stávající stěny



Graf 2 - průběh částečných tlaků vodní páry stávající stěnou



Tabulka 5 - tabulka výsledků a vyhodnocení stávající skladby stěny

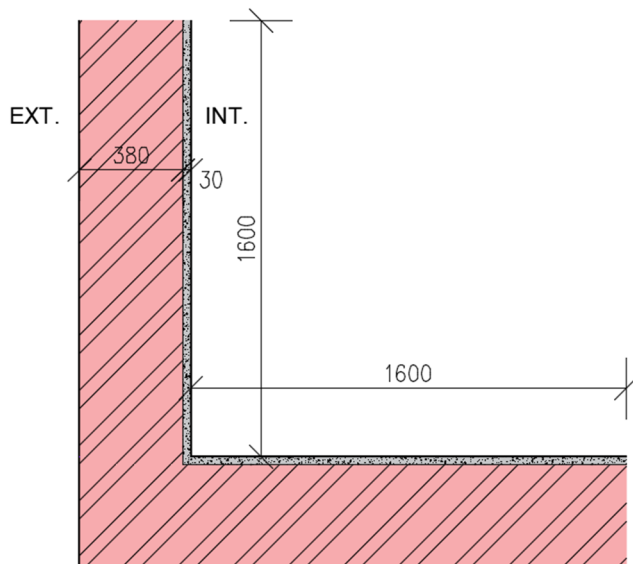
VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Součinitel prostupu tepla $U$	1,17 [W/m <sup>2</sup> K]	< 0,3 [W/m <sup>2</sup> K]	<b>NE</b>
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	11,5 [°C]	> 9,53 [°C] 	<b>ANO</b>
		> 12,89 [°C] 	<b>NE</b>
Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$	0,0127 [kg/m <sup>2</sup> *a]	< 0,50 [kg/m <sup>2</sup> *a]	<b>ANO</b>
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$	1,8558 [kg/m <sup>2</sup> *a]	$M_{c,a} < M_{ev,a}$	<b>ANO</b>

Z vyhodnocení je zřejmé, že konstrukce z hlediska prostupu tepla je nevyhovující. Z hlediska rizika kondenzace vodní páry na povrchu je vyhovující, jelikož je povrchová teplota vyšší než stanovené kritérium. Na povrchu konstrukce vzniká riziko růstu plísní, poněvadž povrchová teplota nesplňuje stanovené kritérium. Uprostřed detailu dochází ke kondenzaci vodní páry, která by se měla v průběhu roku vypařit, proto je z tohoto hlediska konstrukce vyhovující. K riziku degradace dřevěných prvků nedochází, jelikož je obvodová stěna neobsahuje. Celkově je konstrukce dle dnešních požadavků nevyhovující.



## Detail koutu stěny

Z vyhodnocení obvodové stěny již víme, že v konstrukci dochází ke kondenzaci vodních par a na vnitřním povrchu vzniká riziko růstu plísní. Je tedy zjišťováno, zda nejnižší vnitřní teplota detailu může více klesnout a jestli by mohlo v koutě obvodové stěny docházet dokonce ke kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu. V tomto detailu je totiž vysoký poměr ochlazované plochy vůči ploše ohřívané.

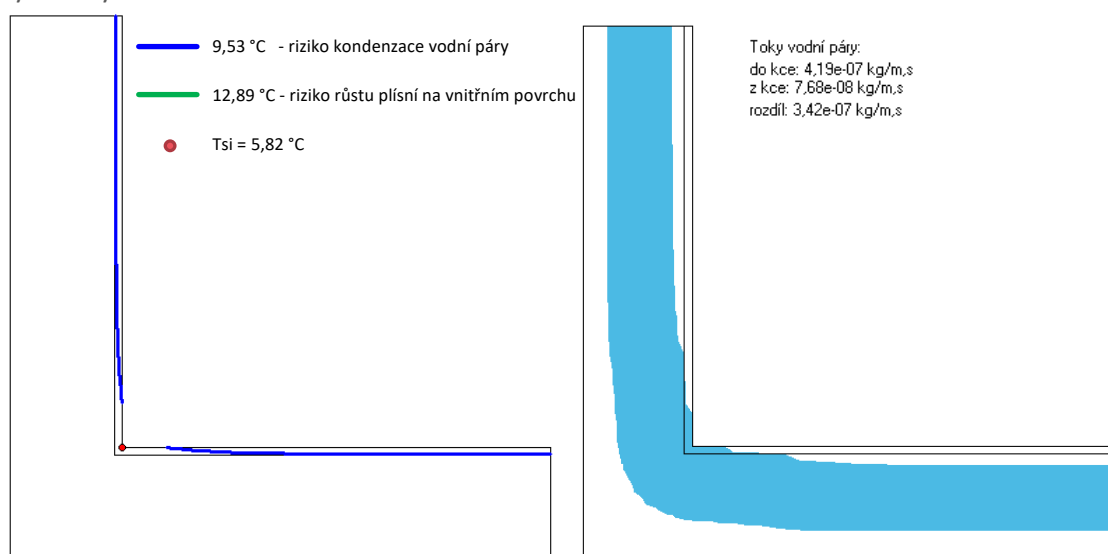


Obrázek 16 - detail koutu obvodové stěny stávající stav

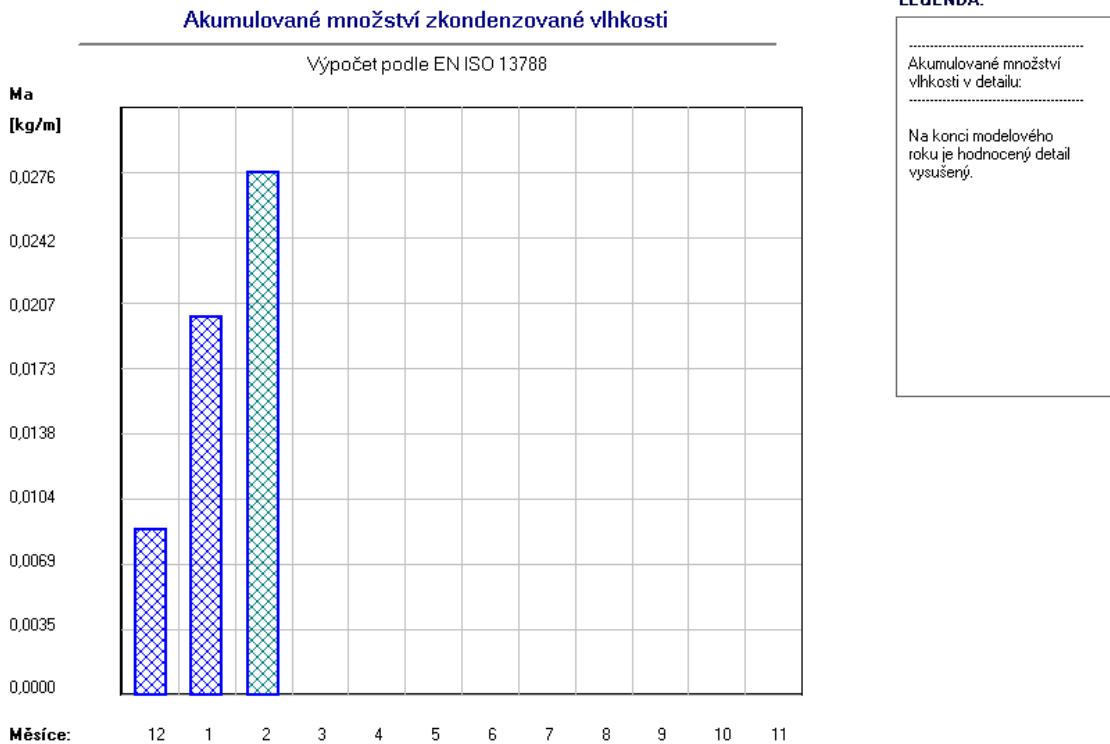
Tabulka 6 - tabulka materiálů detailu koutu ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02

## Výsledky



Obrázek 17 - průběh izoterm a oblast kondenzace detailu koutu ve stávajícím stavu



Obrázek 18 - roční bilance vlhkosti detailu koutu ve stávajícím stavu

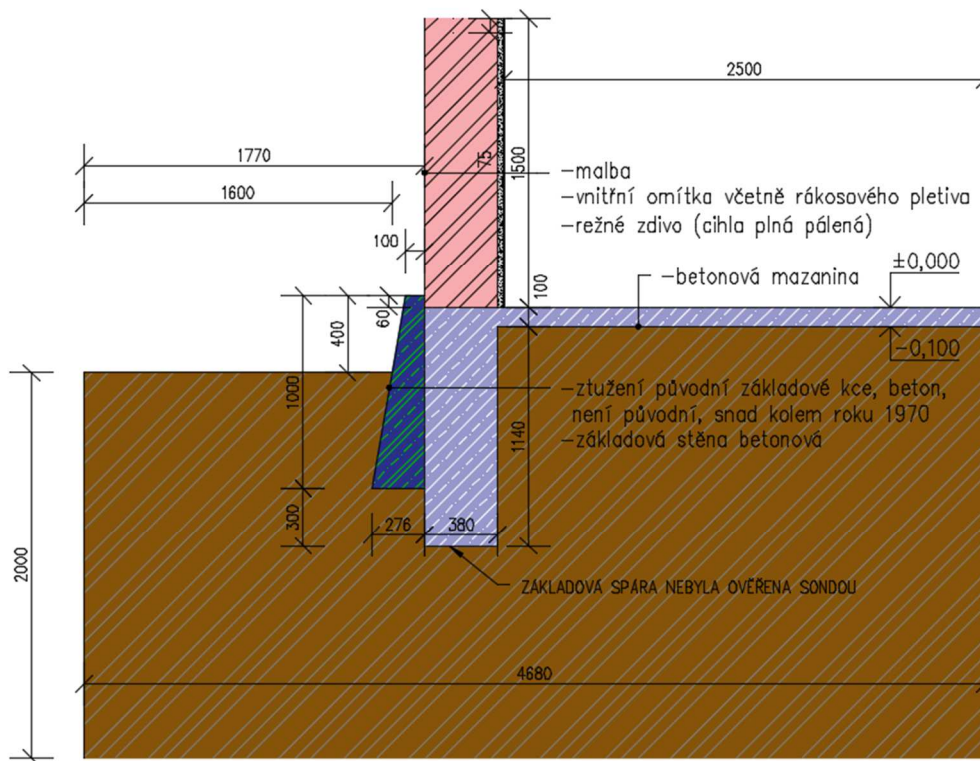
Tabulka 7 – vyhodnocení detailu koutu ve stávajícím stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	-0,742 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	<b>ANO</b>
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	5,8 [°C]	> 9,53 [°C]	<b>NE</b>
		> 12,89 [°C]	<b>NE</b>
Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$	0,0276 [kg/m <sup>2</sup> *a]	< 0,50 [kg/m <sup>2</sup> *a]	<b>ANO</b>
Odpaření zkondenzované vodní páry uprostřed detailu	ANO	= 0 [kg/m <sup>2</sup> *a]	

Z výsledků je patrné, že konstrukce z hlediska vnitřní povrchové teploty je absolutně nevyhovující. Z hlediska lineárního prostupu tepla a kondenzace uvnitř konstrukce, je detail vyhovující. Celkově je konstrukce nevyhovující, nejenom že v celé ploše stěny vzniká riziko růstu plísní, ale v koutech dochází dokonce ke kondenzaci vodních par. Tyto jevy jsou nežádoucí u stavebních konstrukcí z důvodu postupné degradace konstrukce a hlavně mají nežádoucí vliv na lidské zdraví. Z tohoto důvodu je nezbytné navrhnout tepelně technické řešení, jež tyto nežádoucí jevy odstraní.



## Detail soklu



Obrázek 19 – schéma detailu soklu ve stávajícím stavu

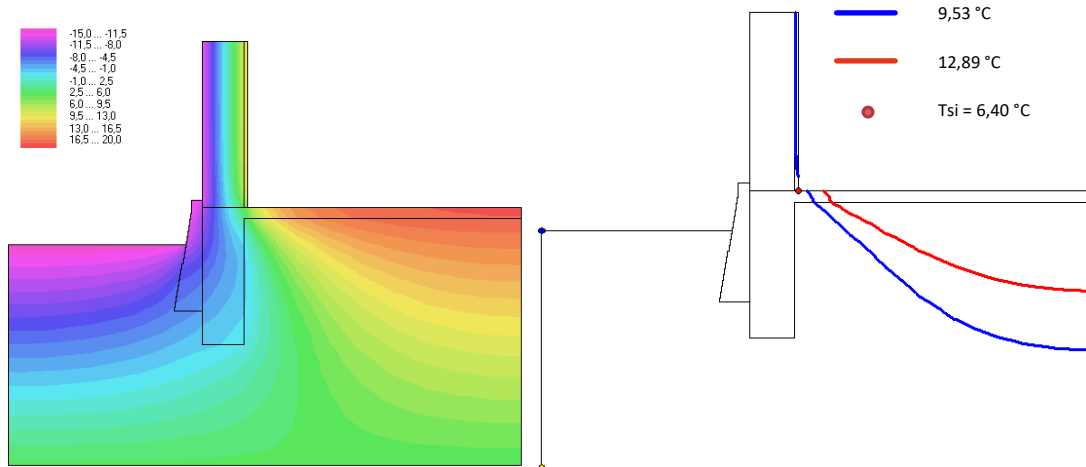
Dalším řešeným detailem je detail soklu. Jedná se o velmi složitý detail, který je vystaven působení povětrnostních vlivů, vlhkosti, statickým vlivům a různým dalším. Dříve se tento detail řešil velmi jednoduše, nebo spíše vůbec neřešil. Tepelně technické požadavky se stále zvyšují, proto je nutné se tomuto detailu věnovat podrobněji.

Tabulka 8 - tabulka materiálů detailu soklu ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02
Zemina	<i>Sandy Loam</i>	1550	0,4	850	0,454	50
Prostý beton původní	<i>Concrete C12/15</i>	2200	0,18	850	1,6	92
Železobeton (ztužení původní konstrukce)	<i>Concrete w/c 0,5</i>	2308	0,16	850	1,7	179

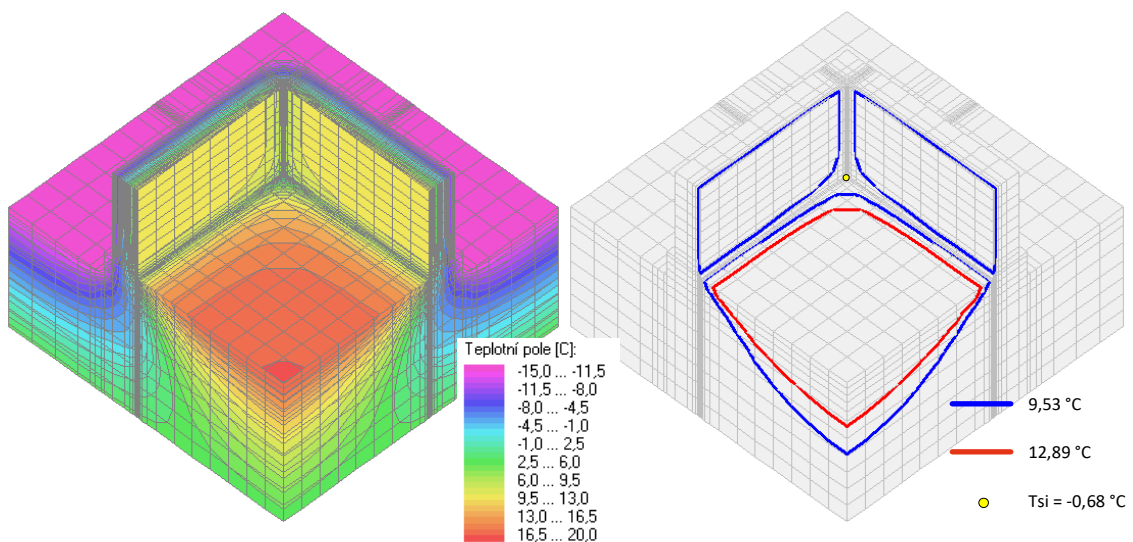


### Výsledky



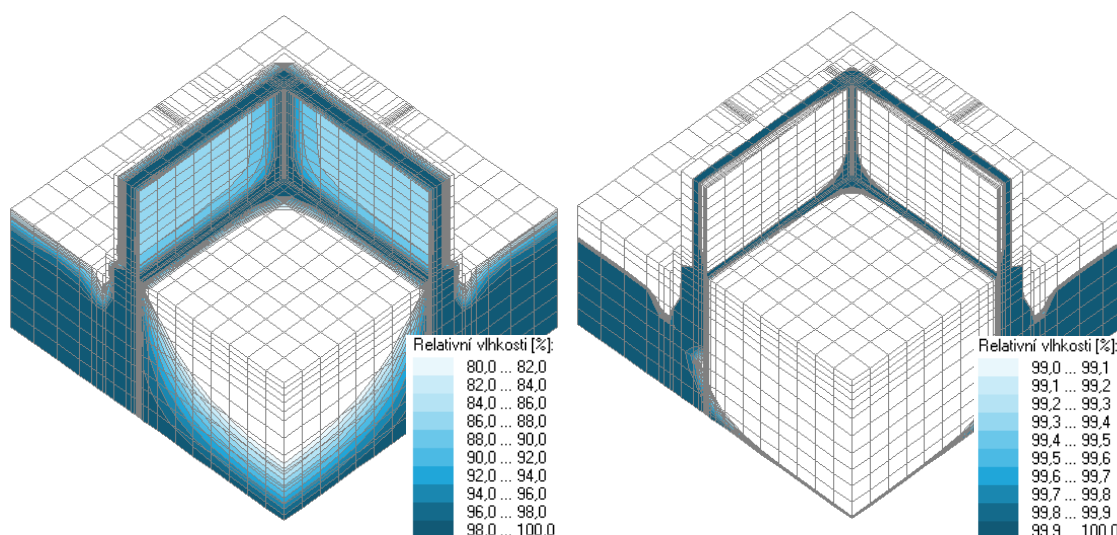
Obrázek 20 - 2D teplotní pole a izotermy detailu soklu ve stávajícím stavu

Detail soklu je vymodelován také pomocí 3D modelu v ustáleném stavu. Jedná se v podstatě o spojení tří 2D detailů kolmých na sebe do 3D detailu. Ve dvou svislých rovinách tohoto detailu můžeme nalézt 2D detail soklu. Vodorovnou rovinu tvoří detail koutu stěny.



Obrázek 21 - 3D teplotní pole a izotermy detailu soklu ve stávajícím stavu





Obrázek 22 - relativní vlhkosti 3D detailu soklu ve stávajícím stavu

Tabulka 9 - vyhodnocení detailu soklu ve stávajícím stavu

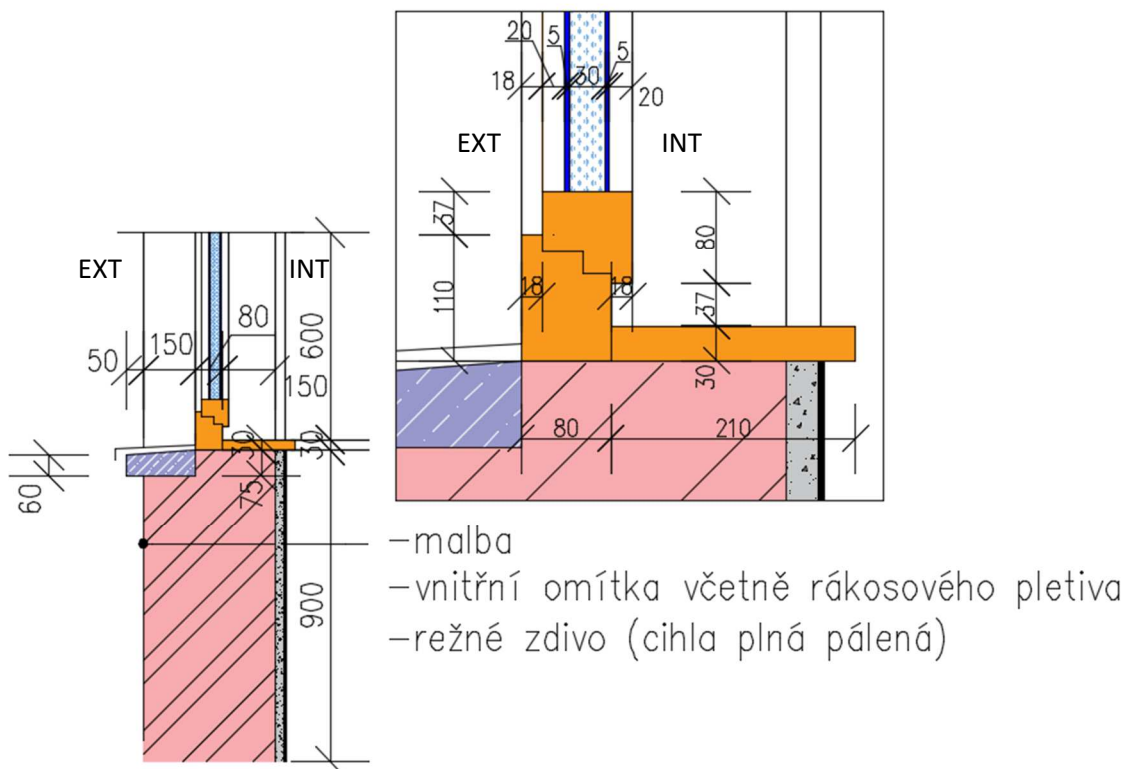
VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$		-0,030 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	<b>ANO</b>
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	2D	6,4 [°C]	> 9,53 [°C]	<b>NE</b>
			> 12,89 [°C]	<b>NE</b>
	3D	-0,7 [°C]	> 9,53 [°C]	<b>NE</b>
			> 12,89 [°C]	<b>NE</b>

Vyhodnocení požadavku množství zkondenzované vodní páry za rok je ztíženo tím, že neexistuje žádná obecně uznávaná a normovaná metodika výpočtu celoroční bilance v podmínkách dvourozměrného vedení tepla a vodní páry. Proto v tomto detailu již není možné posoudit množství zkondenzované vodní páry v konstrukci a zda se vypaří v průběhu roku.

Z hlediska lineárního prostupu tepla je detail soklu ve stávajícím stavu vyhovující. Vnitřní povrchová teplota je zde nevyhovující, podobně jako v detailu koutu. Teplota klesá pod obě požadované hodnoty, proto je zde riziko růstu plísní a zároveň dochází ke kondenzaci. Pomocí 3D výpočtu je zjištěno, že v koutě u podlahy povrchová teplota může klesnout dokonce pod bod mrazu. Jedná se o velice problematický detail, který je nutno řešit.



## Detail parapetu



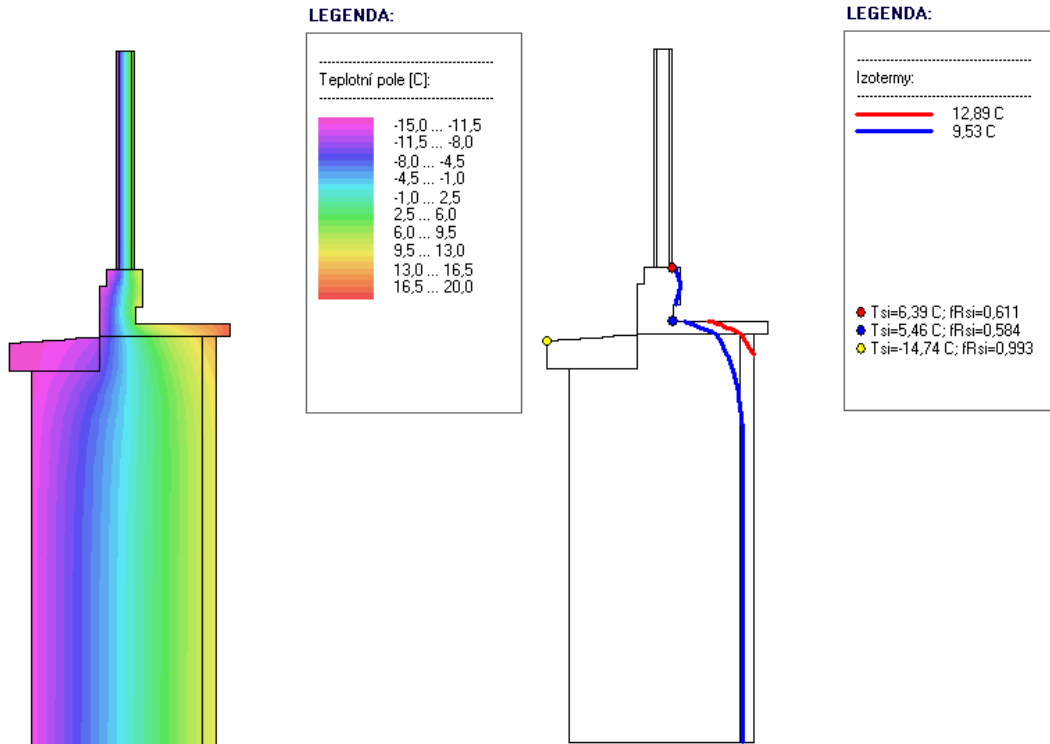
Obrázek 23 – schéma detailu parapetu ve stávajícím stavu

Tabulka 10 - tabulka materiálů detailu parapetu ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02
Prostý beton původní	<i>Concrete C12/15</i>	2200	0,18	850	1,6	92
Dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II</i> <i>upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> <b>2510</b>	<del>0,13</del> <b>0,18</b>	108
Sklo	<i>PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m)</i> <i>upraveno</i>	<del>130</del> <b>2600</b>	0,001	<del>2200</del> <b>840</b>	<del>1,65</del> <b>0,76</b>	<del>87000</del> <b>1000000</b>
Vzduchová mezera	<i>Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity</i>	1,3	0,999	1000	0,18	0,46





Výsledky



Obrázek 24 - 2D teplotní pole a izotermy detailu parapetu ve stávajícím stavu

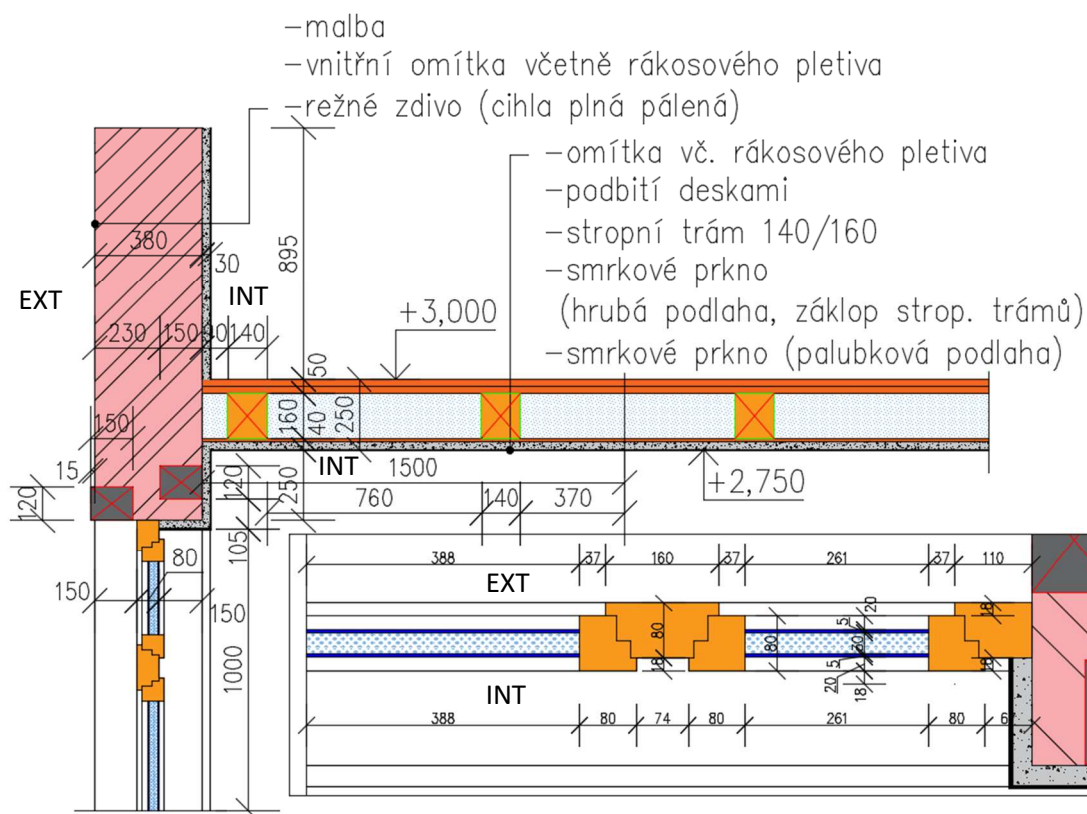
Tabulka 11 - vyhodnocení detailu parapetu ve stávajícím stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	0,323 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	<b>NE</b>
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	6,0 [°C]	> 9,53 [°C] 	<b>NE</b>
		> 12,89 [°C] 	<b>NE</b>

Z hlediska lineárního prostupu tepla je detail soklu ve stávajícím stavu nevyhovující. Vnitřní povrchová teplota je zde také nevyhovující. Teplota výrazně klesla pod obě požadované hodnoty, proto je zde riziko růstu plísní a zároveň může docházet ke kondenzaci vodních par na povrchu okenního rámu a zároveň na zasklení. Jedná se o další kritický detail, který je nutno řešit.



## Detail nadpraží



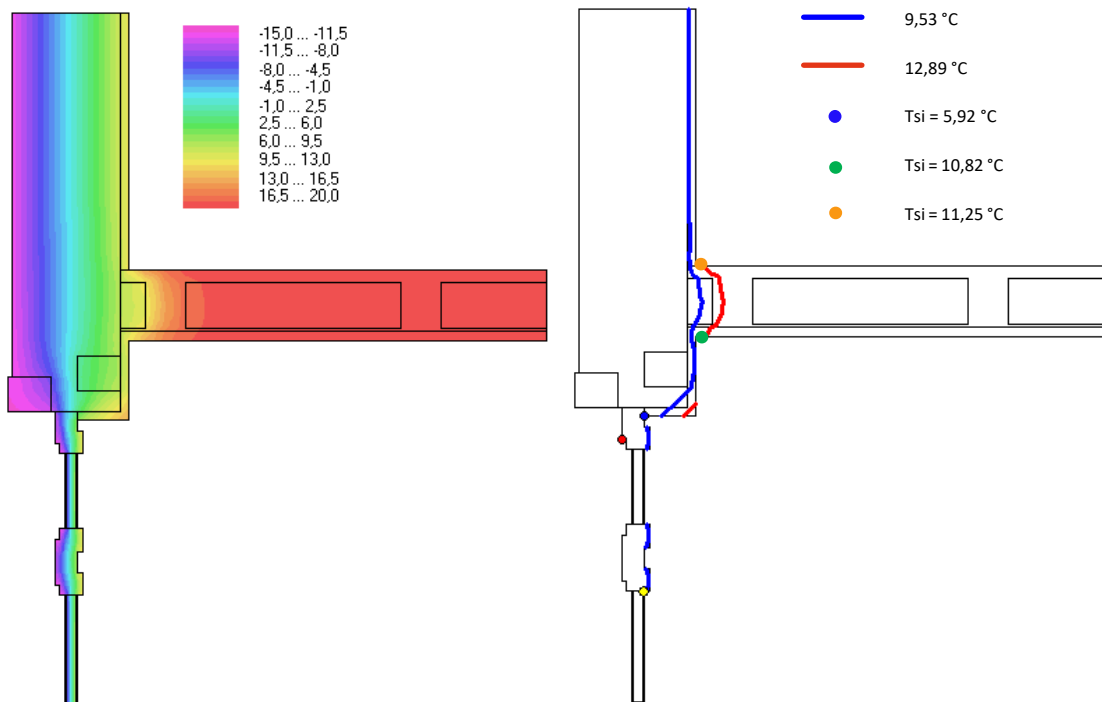
Obrázek 25 - schéma detailu nadpraží ve stávajícím stavu

Tabulka 12 - tabulka materiálů detailu nadpraží ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02
Dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II</i> <i>upraveno</i>	390	0,75	1600 <b>2510</b>	0,13 <b>0,18</b>	108
Sklo	<i>PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m)</i> <i>upraveno</i>	130 <b>2600</b>	0,001	2200 <b>840</b>	1,65 <b>0,76</b>	87000 <b>1000000</b>
Vzduchová mezera	<i>Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity</i>	1,3	0,999	1000	0,18	0,46
ŽB překlad	<i>Concrete w/c 0,4</i>	2322	0,15	850	1,7	192
Vzduchová dutina ve stropě	<i>Air Layer 150 mm</i>	1,3	0,999	1000	0,94	0,07





## Výsledky



Obrázek 26 - pole teplot a izotermy detailu nadpraží ve stávajícím stavu

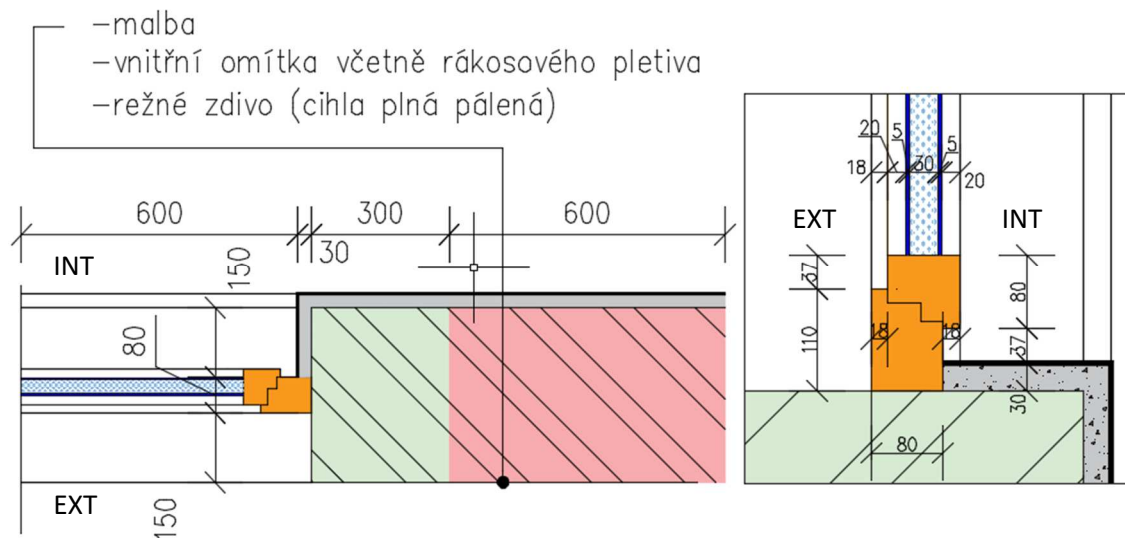
Tabulka 13 – vyhodnocení detailu nadpraží ve stávajícím stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	0,398 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	<b>NE</b>
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	5,9 [°C]	> 9,53 [°C] 	<b>NE</b>
		> 12,89 [°C] 	<b>NE</b>

Z hlediska lineárního prostupu tepla je detail nadpraží ve stávajícím stavu nevyhovující. Vnitřní povrchová teplota je zde nevyhovující. Teplota výrazně klesá jak pod teplotu pro riziko tvorby plísní, tak i pod teplotu rosného bodu. Může zde tedy docházet k oběma nežádoucím jevům. Na obrázku s izotermami je možné spatřit, že na vnitřním povrchu obvodové konstrukce v úrovni stropní konstrukce může docházet dokonce ke kondenzaci vodních par. Jedná se o kritický detail, který je nutno řešit.



## Detail ostění



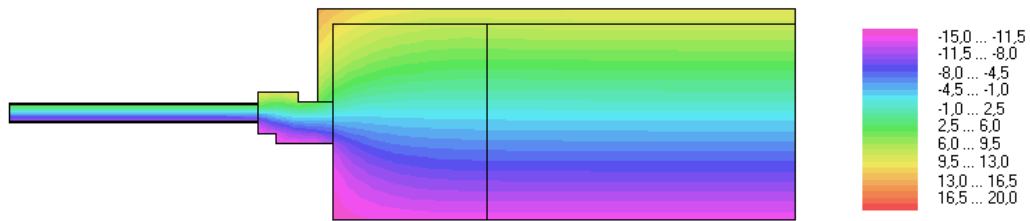
Obrázek 27 - schéma detailu ostění ve stávajícím stavu

Tabulka 14 - tabulka materiálů detailu ostění ve stávajícím stavu

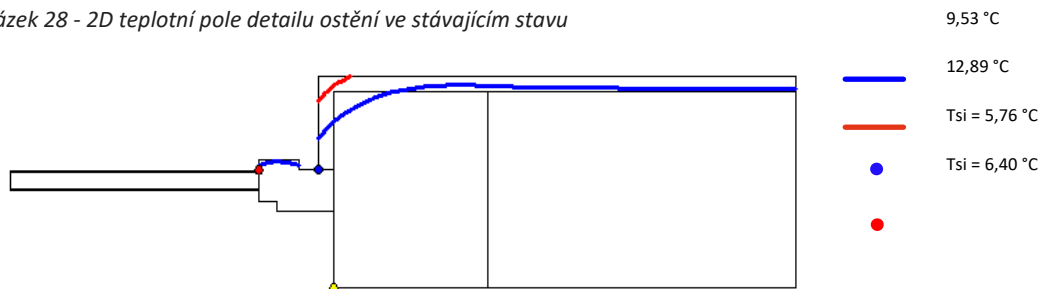
Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02
Dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> <b>2510</b>	<del>0,13</del> <b>0,18</b>	108
Sklo	<i>PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m) upraveno</i>	<del>130</del> <b>2600</b>	0,001	<del>2200</del> <b>840</b>	<del>1,65</del> <b>0,76</b>	<del>87000</del> <b>1000000</b>
Vzduchová mezera	<i>Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity</i>	1,3	0,999	1000	0,18	0,46
Vápenopísková cihla	<i>Lime Silica Brick Rutsch</i>	1755	0,34	868	0,722	16
Vzduchová dutina ve stropě	<i>Air Layer 150 mm</i>	1,3	0,999	1000	0,94	0,07



Výsledky





Obrázek 28 - 2D teplotní pole detailu ostění ve stávajícím stavu



Obrázek 29 - izotermy detailu ostění ve stávajícím stavu

Tabulka 15 - vyhodnocení detailu ostění ve stávajícím stavu

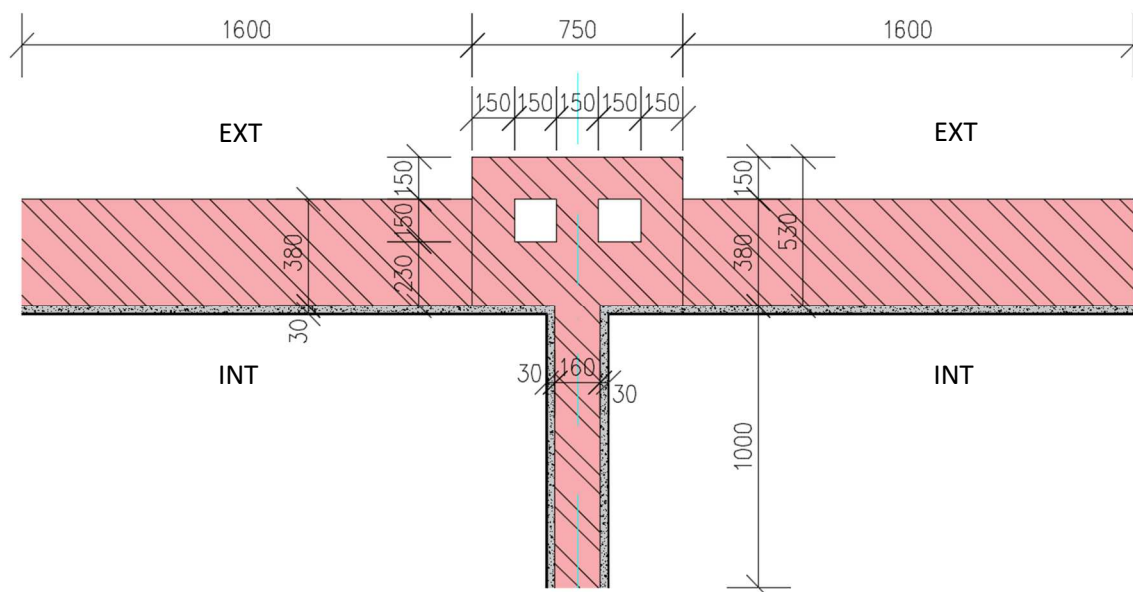
VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	0,391 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	<b>NE</b>
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	5,8 [°C]	> 9,53 [°C] 	<b>NE</b>
		> 12,89 [°C] 	<b>NE</b>

Z hlediska lineárního prostupu tepla je detail ostění ve stávajícím stavu nevyhovující. Vnitřní povrchová teplota je zde taktéž nevyhovující. Teplota výrazně klesá pod obě požadované hodnoty, proto je zde riziko růstu plísní a zároveň může docházet ke kondenzaci vodních par. Jedná se o kritický detail, který je nutno řešit.





## Detail komína



Obrázek 30 - schéma detailu komína ve stávajícím stavu

Jedná se o půdorysný detail komína, který se nachází v úrovni mezibytové příčky. Tento komín se nachází na obou protilehlých fasádách a je typický pro tento typ domků. Komín může výrazně ovlivňovat teplotu na vnitřním povrchu koutů v místě mezibytové příčky. Nejprve se předpokládá, že komín je nevyužívaný. Výpočet je tedy proveden ve dvou variantách pro nevyužívaný komín a jedna varianta s využívaným komínem. První varianta představuje nepoužívaný komín, který má utěsněné všechny průduchy, a tedy nedochází k proudění vzduchu v dutině. Druhá varianta výpočtu je nepoužívaný komín ve velmi špatném stavu, kdy v dutině dochází k proudění vzduchu z důvodu netěsnosti otvorů. Příkladem takových netěsností jsou revizní dvířka, která se nachází u paty komína na venkovní straně, viz foto níže. Okrajové podmínky v dutině jsou simulovány podobně jako v dutině provětrávané fasády, tedy s odporem na přestupu tepla  $R_{se} = 0,13$  [m<sup>2</sup>K/W]. Třetí varianta představuje funkční komín, kde dutinou jsou odváděny zplodiny o předpokládané teplotě 60 °C. Odpor na přestupu tepla v této variantě je zadáván podobně jako v druhé variantě.

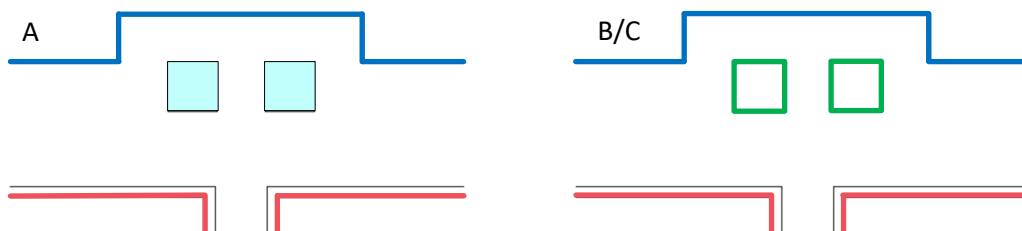


Obrázek 31 – foto severní fasády budovy z osobní prohlídky dne 23.6.2020 s vyznačením revizních dvířek



### Varianty výpočtů:

- A. Dutina je simulována pomocí materiálu vzduch
- B. Dutina je simulována okrajovými podmínkami s venkovní teplotou  $-15\text{ °C}$  a  $R_{se} = 0,13\text{ [m}^2\text{K/W]}$
- C. Dutina je simulována okrajovými podmínkami s teplotou zplodin  $+60\text{ °C}$  a  $R_{se} = 0,13\text{ [m}^2\text{K/W]}$



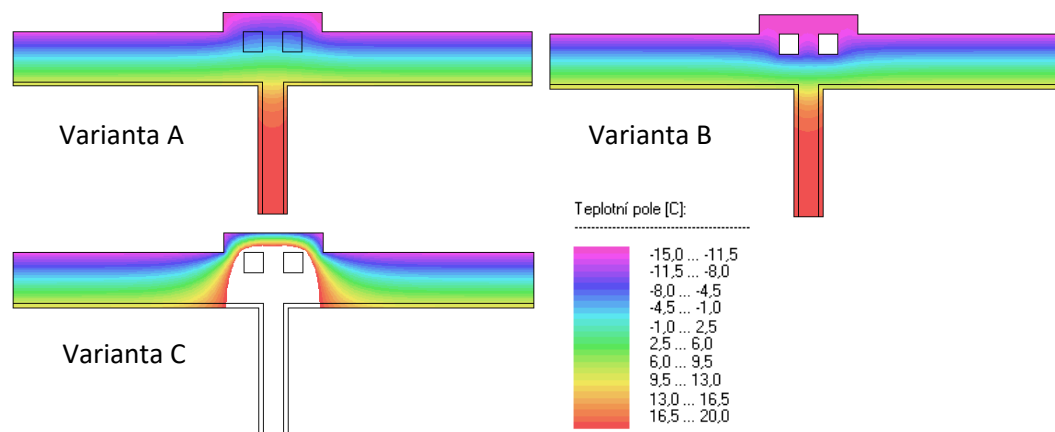
Obrázek 32 - schéma okrajových podmínek detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách

Tabulka 16 - tabulka materiálů detailu komína ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortar (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02
Vzduchová dutina v komíně	<i>Air Layer 150 mm</i>	1,3	0,999	1000	0,94	0,07

### Výsledky

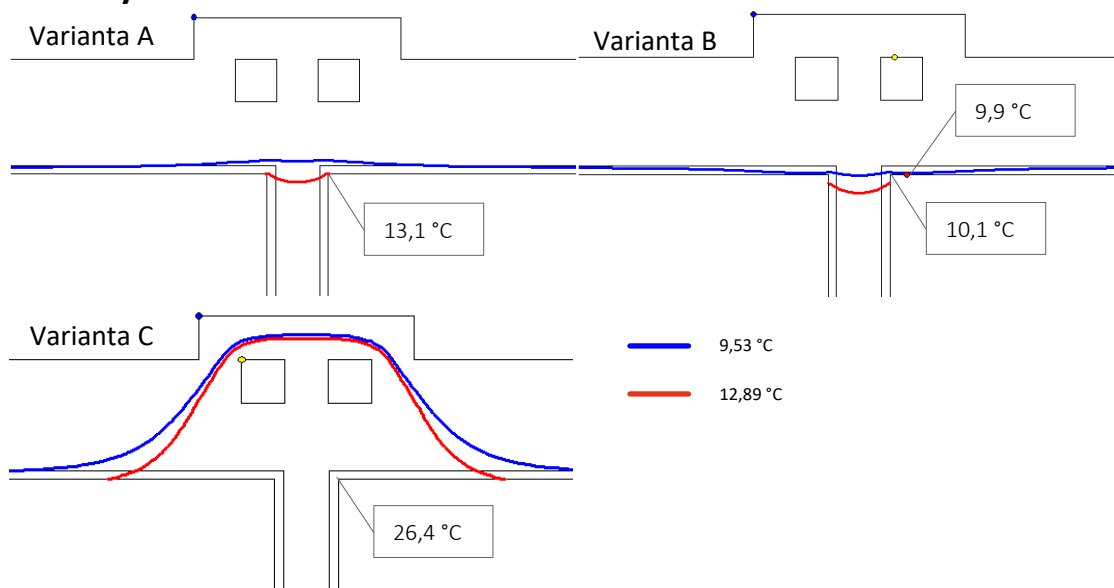
#### Teplotní pole



Obrázek 33 - teplotní pole detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách



## Izotermie



Obrázek 34 - izotermie detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách

Tabulka 17 – vyhodnocení detailu komína ve stávajícím stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	A	-0,121 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	<b>ANO</b>
	B	0,275 [W/mK]		<b>NE</b>
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	A	13,1 [°C]	> 9,53 [°C]	<b>ANO</b>
			> 12,89 [°C]	<b>ANO</b>
	B	9,9 [°C]	> 9,53 [°C]	<b>ANO</b>
			> 12,89 [°C]	<b>NE</b>
	C	26,4 [°C]	> 9,53 [°C]	<b>ANO</b>
			> 12,89 [°C]	<b>ANO</b>

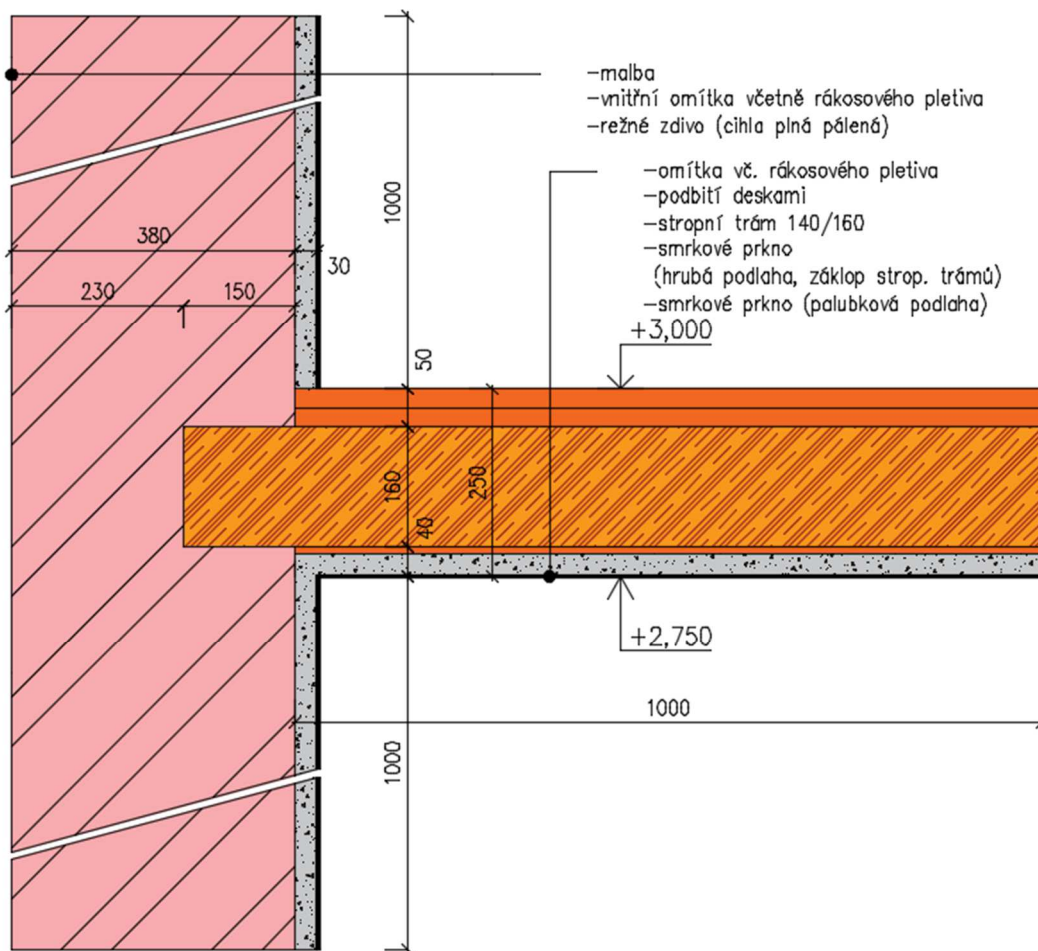
Z výsledků vyplývá, že v případě používání komínu, je tento detail vyhovující. Pokud se jedná o nefunkční komín a jsou v něm neutěsněné otvory, které podporují proudění vzduchu komínem, je tento detail nevyhovující. Vnitřní povrchová teplota v koutě je nižší než povrchová teplota v ploše stěny, zároveň je vyšší než v typickém koutě. Pokud jsou otvory utěsněny tak, aby komínem vzduch neproudil, je detail vyhovující. Povrchová teplota v koutě je dokonce vyšší než povrchová teplota v ploše stěny.

Ani jedna ze zvolených variant bohužel nedokáže vystihnout v ustáleném stavu chování tohoto detailu. V případě nepoužívaného komínu se teploty v detailu mohou pohybovat někde mezi variantou A a B. V případě používaného komínu se s velkou pravděpodobností nebude topit neustále. Teploty na vnitřním povrchu tedy budou závisle na užívání komínu. V období neužívání komínu budou vnitřní povrchové teploty klesat až do rozmezí variant A a B v souvislosti s časem.

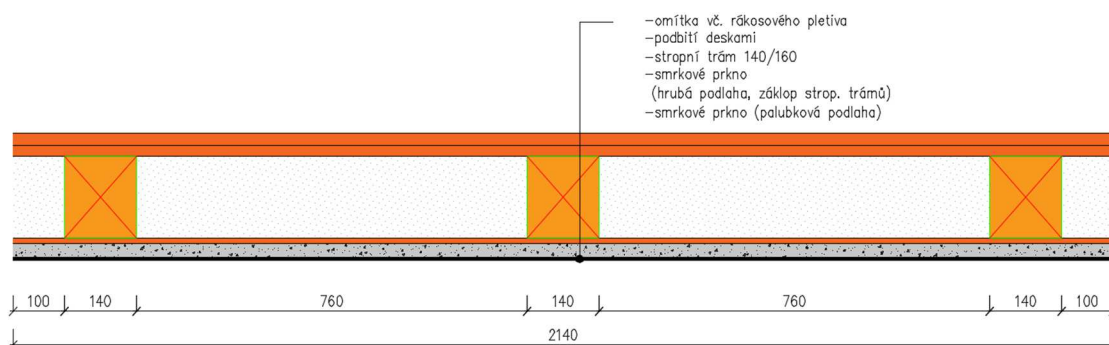
V případě nefunkčnosti komína je nutné při přestavbě a zateplení zajistit těsnost otvorů tak, aby vzduch v komíně co nejméně proudil. Pokud nebude takto učiněno, s velkou pravděpodobností bude detail nevyhovující i po zateplení budovy.



## Detail zhlaví trámu



Obrázek 35 - schéma detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu



Obrázek 36 - schéma podélného řezu detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu

Trámové zhlaví v obvodové stěně je detailem velmi problematickým. Trám je zde namáhán nejen staticky, ale i tepelně a vlhkostně. Pro uložení trámu na obvodovou konstrukci je v ní vytvořena kapsa, která lokálně zeslabuje obvodovou konstrukci, a tím vzniká tepelný most. Dřevo je velice náchylné na vlhkost. Při překročení relativní vlhkosti prostředí 80 % již může nastat riziko napadení škůdci a dřevokaznými houbami. Při zvýšení vlhkosti dřevo také zvětšuje svůj objem a tím se může poškodit. Následkem toho může být poškození přiléhající konstrukce nebo dokonce vznik trhlin na obvodové konstrukci. Proto je nutné nejprve vymodelovat stávající stav konstrukce.



Dříve byly stropní trámy ukládány do vyzdívaných kapes, kde byla ponechána kolem trámu vzduchová mezera. V případě řešeného objektu je detail ve stávajícím stavu simulován jako plně zabudovaný bez vzduchové mezery. Tento předpoklad je stanoven na základě návštěvy budovy a budov podobného typu, ve kterých právě probíhala rekonstrukce. Také se předpokládá, že pokud kolem trámu přeci jen byla ponechána vzduchová mezera, je nejspíše zanesena nečistotami.

Tabulka 18 - tabulka materiálů detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<i>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</i>	1576	0,44	850	0,58	7,02
Dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> 2510	<del>0,13</del> 0,18 ⊥ 0,41	108
Vzduchová dutina ve stropě	<i>Air Layer 150 mm</i>	1,3	0,999	1000	0,94	0,07

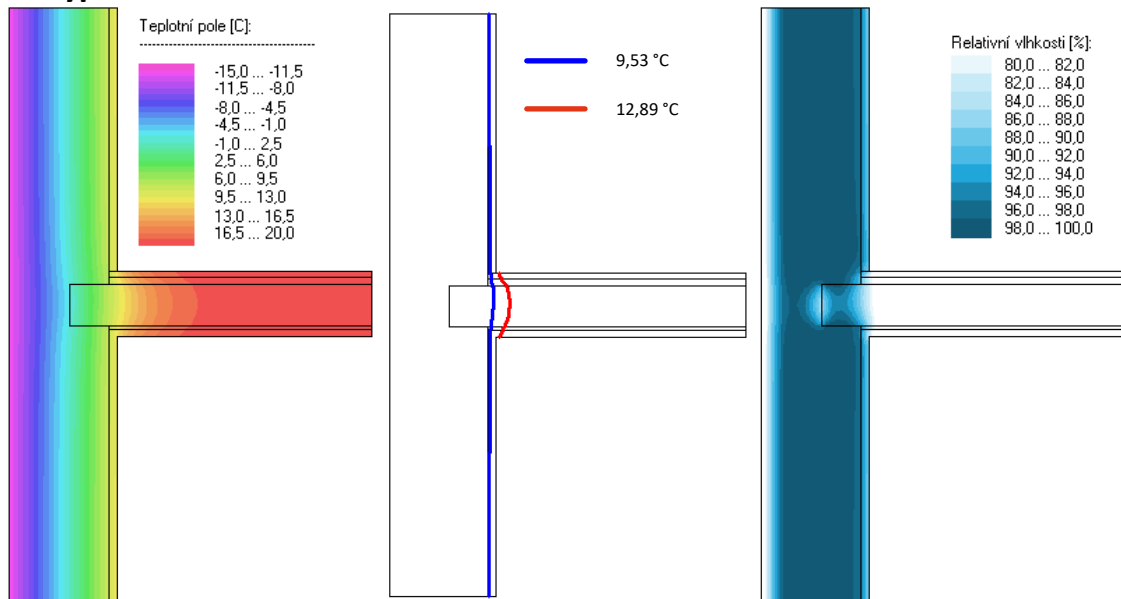
Dřevo je materiálem anizotropním, proto se ve výpočtech musí uvážit to, že má v různých směrech jiné vlastnosti. Tepelná vodivost dřeva se liší ve směru kolmém na vlákna a ve směru rovnoběžném s vlákny. Hodnoty těchto vlastností se dají nalézt v tabulce výše. Vzduchová dutina mezi trámy je modelována pomocí materiálu s vlastnostmi, které jsou taktéž uvedeny v tabulce výše.

Jelikož se jedná o detail s bodovým tepelným mostem, je spočten pomocí dvou výpočtových metod v ustáleném stavu. A to ve 2D, kde trám představuje dřevěnou stropní desku a ve 3D modelu, kde trám je modelován ve skutečných rozměrech. Tím se ověří, zda je nutné tento detail modelovat ve 3D modelu, nebo postačí jen 2D model pro stanovení, zda je detail vyhovující.



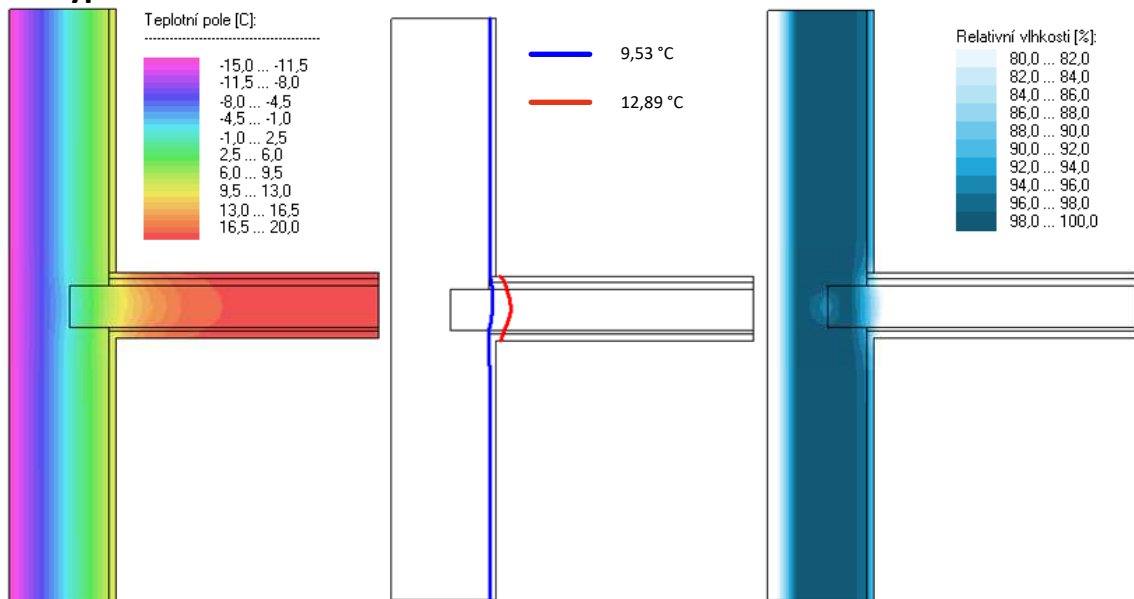
## Výsledky

### 2D výpočet



Obrázek 37 - 2D teplotní pole, izotermy a relativní vlhkosti detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu

### 3D výpočet











Obrázek 38 - 2D teplotní pole, izotermy a relativní vlhkosti detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu – řez středem trámu





Tabulka 19 – vyhodnocení detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	2D	-0,053 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	2D	10,8 [°C]	> 9,53 [°C]	 ANO
			> 12,89 [°C]	 NE
	3D	11,0 [°C]	> 9,53 [°C]	 ANO
			> 12,89 [°C]	 NE
Nejnižší teplota zabudovaného trámu	2D	0,3 [°C]	> 9,53 [°C]	 NE
			> 12,89 [°C]	 NE
	3D	-0,8 [°C]	> 9,53 [°C]	 NE
			> 12,89 [°C]	 NE

Teplota na zhlaví trámu je posuzována dle stejných kritérií jako vnitřní povrchová teplota. Předpokládá se totiž, že v místě zhlaví jsou vlhkostní podmínky stejné jako ve vnitřním prostředí. Tedy že vlhkost z interiéru může volně pronikat do konstrukce stropu z důvodu netěsnosti konstrukce a následně proniká i do kapsy trámu, kde je uloženo zhlaví trámu. Vodní páry do konstrukce mohou pronikat různými netěsnostmi jako podlahou, podbitím, prasklinami v omítce apod. Tyto netěsnosti bohužel není možné přesně definovat v modelu.

Vnitřní povrchová teplota je ve stávajícím stavu detailu zhlaví nevyhovující. Rozdíl mezi výsledky vnitřní povrchové teploty modelu ve 2D a 3D výpočtovém modelu je nepatrný. Odlišné teploty je možné spatřit na zabudovaném zhlaví trámu, kde rozdíl činí 1,5 °C.

Dle obrázků s relativními vlhkostmi je jasné, že zhlaví trámu je vystaveno nepříznivým vlivům. Tyto vlivy mohou nastartovat proces hnití, napadení škůdci nebo plísněmi. Předpokládá se tedy, že ve stávajícím stavu jsou trámy ve velmi špatném, možná až havarijním stavu. Proto je nutné navrhnout řešení tohoto detailu tak, aby se nový trám nacházel ve vhodném prostředí.







### 2.1.5. Souhrn výsledků

Tabulka 20 – vyhodnocení lineárního činitele prostupu tepla všech detailů ve stávajícím stavu

DETAIL	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
KOUT	-0,742 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
SOKL	0,030 [W/mK]		ANO
KOMÍN	A -0,121 [W/mK]		ANO
	B 0,275 [W/mK]		NE
ZHLAVÍ TRÁMU	-0,053 [W/mK]		ANO
PARAPET	0,323 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	NE
NADPRAŽÍ	0,398 [W/mK]		NE
OSTĚNÍ	0,391 [W/mK]		NE

Tabulka 21 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů ve stávajícím stavu

DETAIL	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE	POŽADAVKY	VYHOVUJE
STĚNA	11,5 [°C]	> 12,89 [°C] plísně 	NE	> 9,53 [°C] kondenzace 	ANO
KOUT	5,8 [°C]		NE		NE
SOKL	6,4 [°C]		NE		NE
KOUT 3D	-0,7 [°C]		NE		NE
PARAPET	6,0 [°C]		NE		NE
NADPRAŽÍ	5,9 [°C]		NE		NE
OSTĚNÍ	5,8 [°C]		NE		NE
KOMÍN	A 13,1 [°C]		ANO		ANO
	B 9,9 [°C]		NE		ANO
	C 26,4 [°C]		ANO		ANO
TRÁM – POVRCH <sup>1</sup>	11,0 [°C]	NE	ANO		
TRÁM – ZHLAVÍ <sup>2</sup>	-0,8 [°C]	NE	NE		

<sup>1</sup> – Nejnižší vnitřní povrchová teplota 3D; <sup>2</sup> - Nejnižší teplota zabudovaného trámu 3D



## 2.2. Dynamický výpočtový model

Dynamický model (neustálený, nestacionární) je takový, kde v čase dochází ke změně jednotlivých okrajových podmínek. Tím se v čase také mění teploty a vlhkosti v jednotlivých bodech konstrukce. V takovémto modelu může docházet i ke změně materiálových vlastností v čase.

### 2.2.1. Metody výpočtů

Výpočtové tepelně vlhkostrní modely detailů v dynamickém stavu jsou modelovány pomocí softwaru WUFI Pro 6.5 a WUFI 2D. Jedná se o program pro dynamické modelování jednorozměrného (WUFI Pro 6.5) a dvojrozměrného (WUFI 2D) šíření tepla, vlhkosti a energie ve stavebních konstrukcích a materiálech. Jsou použity studentské licence těchto softwarů. Výpočtové postupy softwaru vystupují z Kunzelova numerického modelu, jenž splňuje veškeré požadavky normy ČSN EN 15026. Jedná se o vyspělejší a mnohem sofistikovanější výpočtovou metodu. [15]

Hodnocené parametry jsou totožné jako ve stacionárním výpočtovém modelu viz kapitola 2.1.1. *Metody výpočtů*. Hodnocení výsledků z dynamického výpočtového modelu probíhají především dle relativní vlhkosti v hodnoceném místě.

Dynamický model je schopen simulovat reálné chování konstrukce a umožňuje postihnout více fyzikálních jevů, které mohou ovlivnit jak šíření tepla, tak i vlhkosti v konstrukci. Pomocí tohoto modelu lze stanovit teplotu a relativní vlhkost v konkrétním bodě ve vybraném čase. Při modelování v neustáleném stavu lze na vnějším a vnitřním povrchu aplikovat časově proměnlivé okrajové podmínky. Běžně v praxi se dynamické modelování nepoužívá. V této diplomové práci je nestacionární výpočtový model použit pro přesnější teoretické určení chování konstrukce.

Výstupem dynamického modelování je rozložení teplot a vlhkostí v konstrukci v časovém průběhu při působení proměnných okrajových podmínek. Před zahájením výpočtu je nutné určit počáteční podmínky jako je relativní vlhkost a teplotu konstrukce. Každý výpočtový krok totiž navazuje na předchozí stav konstrukce. Dynamické modelování také umožňuje do výpočtu zahrnout závislost tepelné vodivosti na vlhkosti. Tato tepelně vlhkostrní funkce je velmi důležitá, jelikož s narůstající vlhkostí roste hodnota součinitele tepelné vodivosti. Zvyšuje se množství prostupujícího tepla a také klesá teplota konstrukce.

Účelem analýzy v dynamickém výpočtovém modelu je vymezit v jakém rozpětí se mohou pohybovat teploty konstrukce na povrchu a také relativní vlhkosti. Pomáhá rovněž určit pravdivost výpočtů a jejich výsledků, jelikož skutečné hodnoty všech vstupních údajů nejsou známy. Venkovní okrajová podmínka je pouze z jednoho reálného roku, který se ve výpočtu cyklicky opakuje. Není známo zda, se jedná o typický rok nebo o rok s extrémními klimatickými jevy. Vnitřní okrajová podmínka není známa, a proto je odhadována. Vlastnosti materiálů stávající konstrukce nejsou zjišťovány pomocí laboratorních testů, ale pouze odhadovány. Analýza je použita s cílem dosáhnout co nejreálnějších výsledků a z důvodu bezpečnosti. Je provedena jako první krok ve výpočtech skladby stěny, který stanoví odchylku dále vypočtených hodnot.



### Klasifikace vlhkosti zdiva

Vlhkost zděných konstrukcí, která je vyvolána účinky zemní vlhkosti, terénem prosakující a po povrchu terénu a chodníků stékající srážkové vody, vody kondenzující z vlhkého vzduchu na povrchu a ve struktuře zdiva, se ve vztahu k uvažovanému způsobu sanace zdiva nad i pod terénem klasifikuje podle tabulky 22. [16]

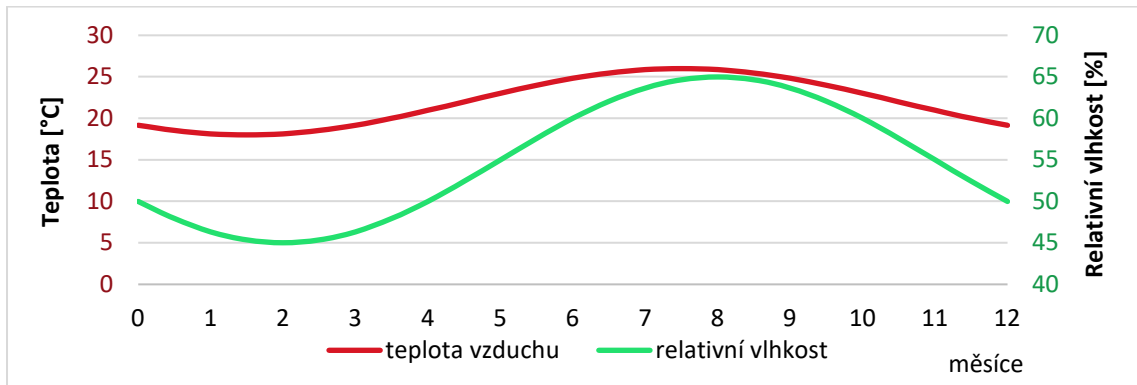
Tabulka 22 - klasifikace zdiva dle ČSN P 73 0610 [16]

Hodnocení vlhkosti	Vlhkost zdiva [% hm.]
Velmi nízká vlhkost	$w < 3$
Nízká vlhkost	$3 < w < 5$
Zvýšená vlhkost	$5 < w < 7,5$
Vysoká vlhkost	$7,5 < w < 10$
Velmi vysoká vlhkost (zamokření)	$w > 10$



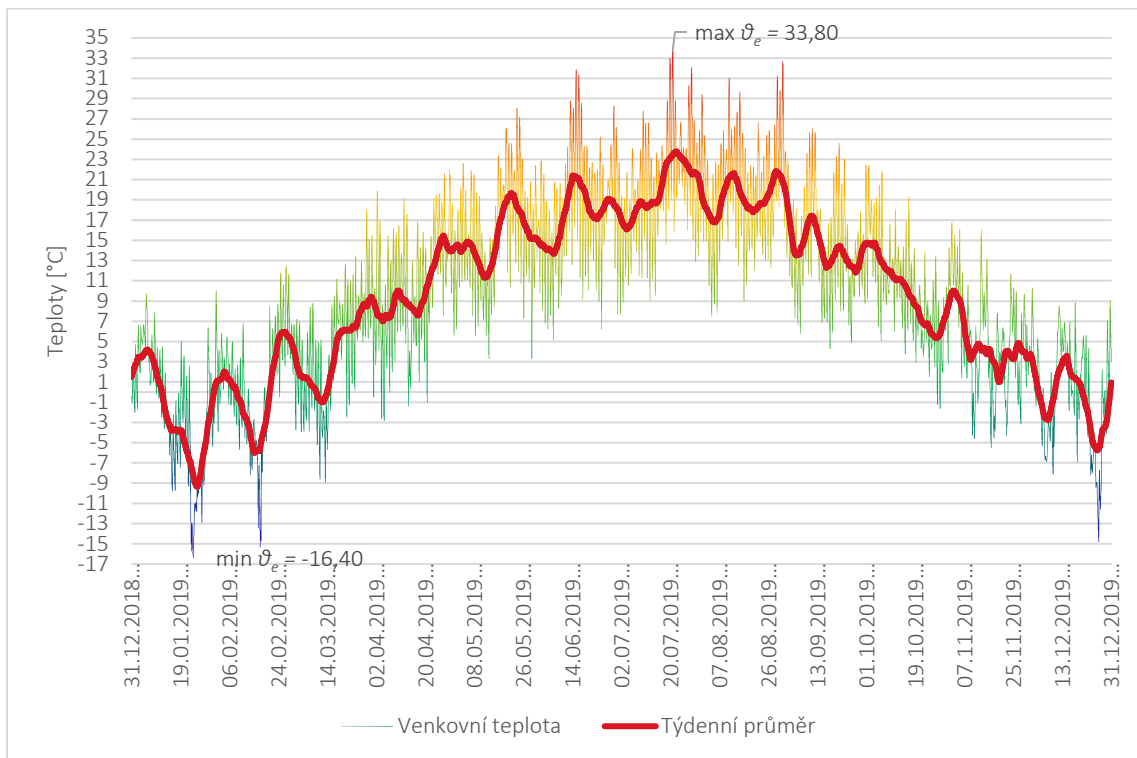
### 2.2.2. Vstupní údaje

Vnitřní teplota je modelována periodicky pomocí sinusoidy, kdy průměrná hodnota je odhadována hodnotou  $\vartheta_i = 22\text{ °C}$  s amplitudou  $4\text{ °C}$ . Maximální teplota vzduchu v interiéru nastává 14. července. Relativní vlhkost ve vnitřním prostředí je modelována taktéž periodicky sinusoidou, kdy průměrná hodnota je odhadována hodnotou  $\varphi_i = 55\%$  s amplitudou  $10\%$ . Maximální hodnota relativní vlhkosti v interiéru nastává 31. srpna. Okrajové podmínky v interiéru jsou odhadovány tak, aby jejich průběh co nejlépe vystihovaly předpokládané vlastnosti vzduchu v průběhu roku v obývané budově.

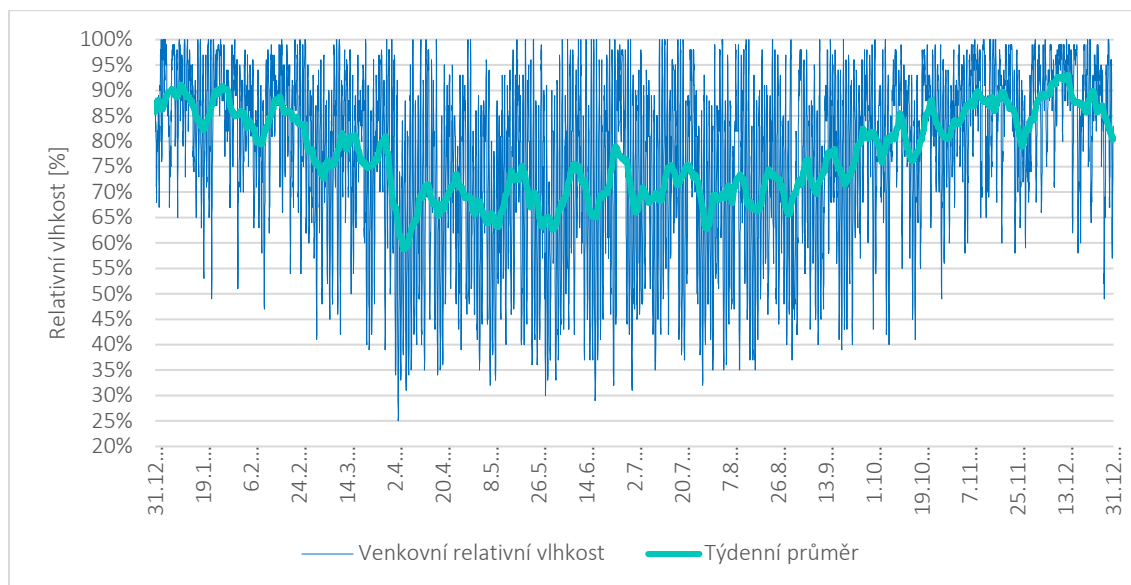


Graf 2 - vnitřní okrajové podmínky pro dynamický výpočtový model

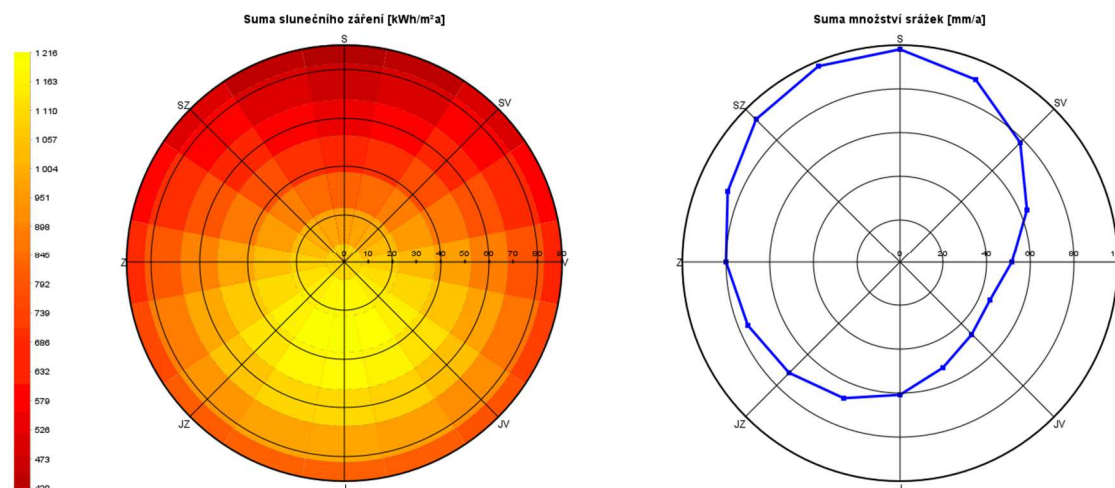
Venkovní okrajové podmínky jsou stanoveny pomocí hodinových dat pro Zlín ze softwaru Meteonorm 7.3.4. Tato data obsahují teploty vzduchu, relativní vlhkosti, sluneční záření přímé a globální, index mračna určující, jak je zatažena obloha, směr a rychlost větru a normální intenzita srážek pro každou hodinu v roce.



Graf 3 - roční průběh venkovních teplot v hodinovém kroku



Graf 4 - roční průběh relativních vlhkostí v hodinovém kroku



Graf 5 - roční analýza slunečního záření a množství srážek dle světových stran

Tabulka 23 - souhrnná roční analýza klimatu

Průměrná teplota [°C]	9,5	Průměrná relativní vlhkost [%]	77,1
Maximální teplota [°C]	33,8	Maximální relativní vlhkost [%]	100
Minimální teplota [°C]	-16,4	Minimální relativní vlhkost [%]	25
Suma vyzařování oblohy [kWh/m2a]	2696,6	Průměrná rychlost větru [m/s]	2,4
Průměrný index oblačnosti [-]	0,66	Běžné množství srážek [mm/a]	570,6

Počáteční relativní vlhkost je stanovena konstantně napříč celé konstrukce hodnotou 0,7. Počáteční teplota je taktéž stanovena konstantně napříč celé konstrukce hodnotou 20 °C.

Simulace detailů začínají vždy ve stejný čas a datum a to 1.10.2020 v 00:00 po dobu tří následujících let.



Ve výpočtech detailů obsahujících zeminu (např. sokl) je zemina modelována po metrových vrstvách do hloubky 10 m. Pro každou vrstvu je stanovena jiná počáteční teplota tak, aby se simulace co nejrychleji stabilizovala a vykazovala co nejreálnější hodnoty. Teploty směrem od horní vrstvy zeminy k dolní vrstvě klesají. Horní vrstva zeminy ve styku se vzduchem má počáteční teplotu 20 °C a relativní vlhkost 80 %. Nejspodnější vrstva v hloubce 10 m pod povrchem má nastavenou počáteční teplotu 11 °C a relativní vlhkost stále 80 %.

### 2.2.3. Zjednodušení a úpravy

Pro stanovení nejhorších možných výsledků jsou řešené detaily orientovány na sever. Z roční analýzy slunečního záření a srážek je zřejmé, že se jedná o nejméně příznivou světovou stranu. Jedná se o orientaci, kde je největší množství úhrnu srážek a zároveň nejméně ozářenou stranu sluncem. Konstrukce při této orientaci je nejvíce ovlivněna účinkem větru. Všechny řešené detaily se na budově opakují na mnoha místech. Všechny detaily, s výjimkou detailu trámového zhlaví, jsou orientovány i na sever. Proto jsou všechny detaily modelovány s výše zmíněnou orientací. Tímto krokem je možné zjistit, jaké nejhorší výsledky mohou reálně nastat.

Při modelování 2D detailů je vyjmuta latentní teplo tání a vypařování. Tato úprava je provedena z důvodu problému se stabilitou výpočtů při simulaci 2D detailů s dynamickými okrajovými podmínkami. Tyto úpravy mají jen minimální vliv na výsledky, viz kapitola 2.2.4. *Výsledky a vyhodnocení – detail stěny 1D.*

Detaily oken nejsou pomocí dynamického výpočtového modelu počítány. Z časových důvodů nebylo možné výpočty nastavit tak, aby nedocházelo k chybě konvergence a destabilizaci výpočtů. Případně aby výpočet neprobíhal po dobu několika dnů.

Ve výpočtech se předpokládá, že budova je užívána po celý modelový rok. Proto jsou tomu přizpůsobeny vnitřní okrajové podmínky.

Výsledky z výpočtů v dynamickém stavu jsou zobrazovány v průběhu jednoho modelového roku v období od 1. července 2022 do 1. července 2023. Tento způsob zobrazení výsledků je zvolen z toho důvodu, aby zkoumané zimní období nebylo přerušeno okrajem grafu.



## 2.2.4. Výsledky a vyhodnocení

### Detail stěny 1D



Obrázek 39 - skladba obvodové stěny ve stávajícím stavu

Tabulka 24 - tabulka materiálů skladby obvodové stěny ve stávajícím stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<b>Solid Brick, historical</b>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní omítka vápenná	<b>Mortal (historical): Lime + Cocciopesto (crushed Brick)</b>	1576	0,44	850	0,58	7,02

Nejprve je v nestacionárním stavu vypočtena konstrukce obvodové stěny. Jelikož je nezbytné vymezit nejistotu výsledků vyplývající z nepřesnosti vstupních hodnot používaných ve výpočtech, je uskutečněno několik výpočtů s odlišnými venkovními okrajovými podmínkami. Vymezí se rozsah vlivu změny individuálních vstupních údajů venkovní okrajové podmínky na výsledky, a tím se stanoví význam jednotlivých veličin. Tyto výpočty umožní vymezit vliv změněných klimatických jevů na výsledky.

Jsou tedy provedeny výpočty obvodové stěny ve čtyřech variantách. Zpočátku je venkovní okrajová podmínka se všemi klimatickými jevy. Následně s jedním zanedbaným klimatickým jevem – déšť, sluneční záření, vítr. Výsledky výpočtů jsou porovnány v jednom grafu pro nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a v jednom grafu pro relativní vlhkost na povrchu konstrukce.





**Varianty výpočtů:** klimatické jevy:

- A. Kompletní (déšť, sluneční záření, vítr)
- B. bez deště
- C. bez slunečního záření
- D. bez větru

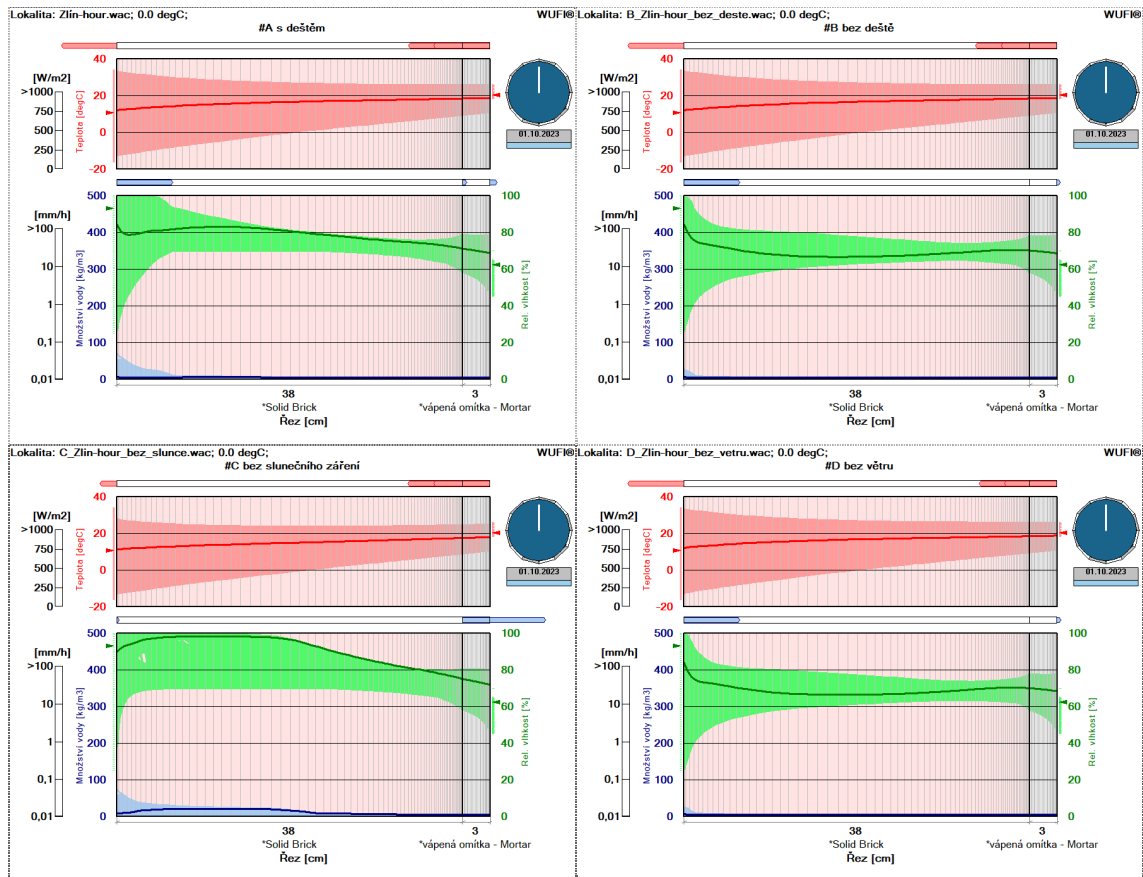
Předpokládá se, že v případě varianty:

*Oproti variantě A*

- B. se sníží množství vlhkosti v konstrukci, především u venkovního povrchu konstrukce. Tím vzroste teplota na vnitřním povrchu z důvodu zlepšení hodnoty součinitele tepelné vodivosti. To vede ke zmenšení prostupu tepla konstrukcí.
- C. se zvýší vlhkost konstrukce. Tím klesne vnitřní povrchová teplota a celkové teploty konstrukce. Je tomu tak z důvodu zhoršení hodnoty součinitele tepelné vodivosti, které vede ke zvýšení prostupu tepla konstrukce. Dále se také předpokládá snížení povrchové teploty na venkovním povrchu z důvodu zanedbání slunečního záření, které konstrukci na venkovním povrchu ohřívá.
- D. se zvýší odpor na přestupu tepla z důvodu zanedbání větru. Tím se zvýší celkové teploty konstrukce a vnitřní povrchové teploty. Jelikož software Wufi počítá s větrem hnaným deštěm, je v tomto případě zanedbán také déšť na svislou rovinu. Tedy se jedná v podstatě o variantu bez větru i bez deště, proto zde platí i předpoklady z varianty B.

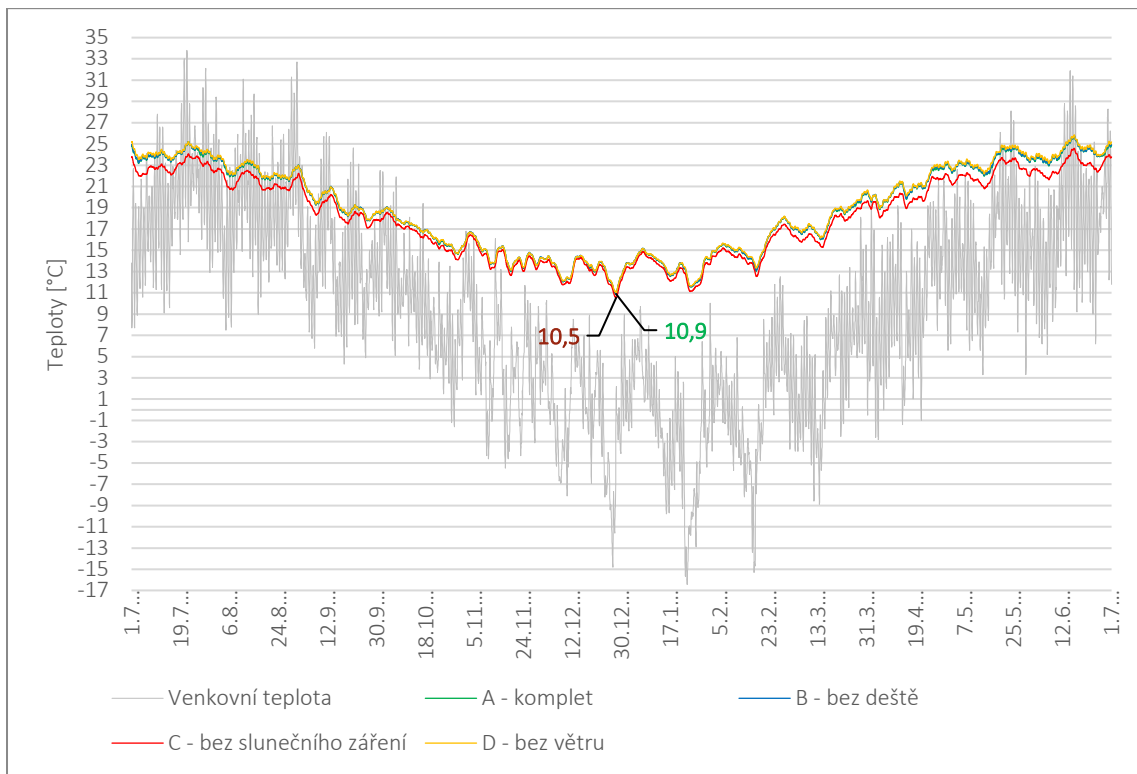


## Výsledek výpočtů



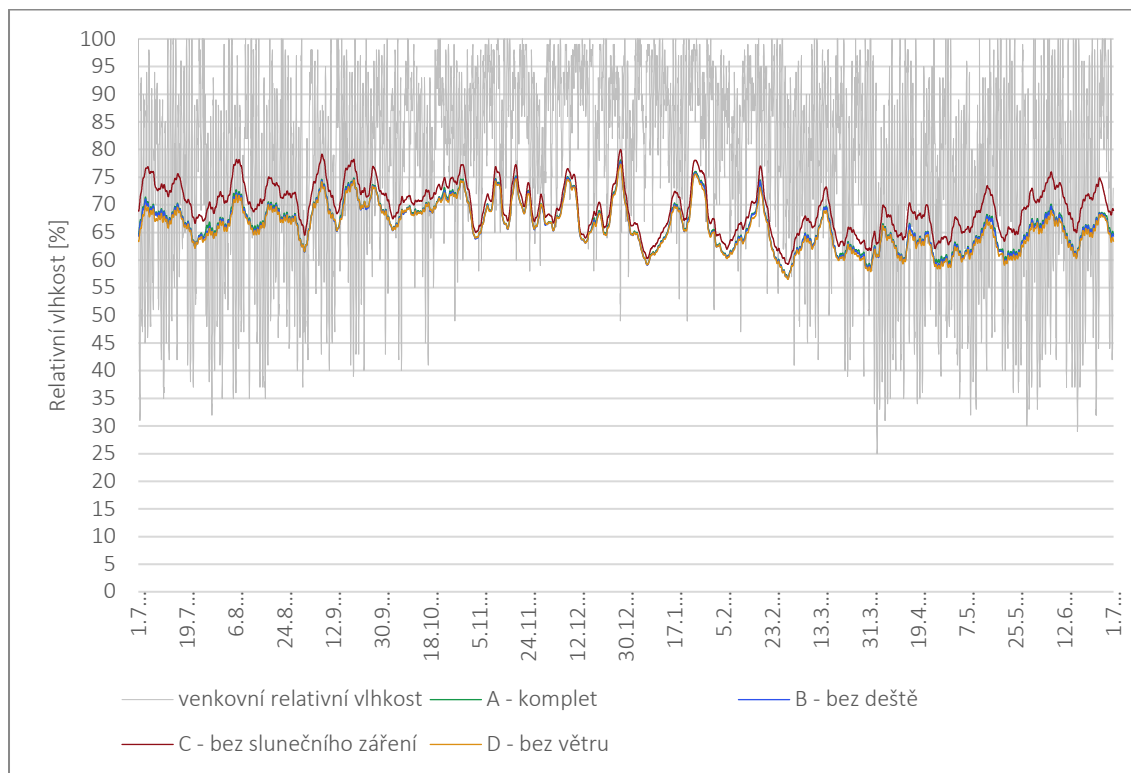
Obrázek 40 - průběhy teplot a relativních vlhkostí konstrukcí po celé období výpočtu skladby stěny ve stávajícím stavu

Pro porovnání, jaký vliv na konstrukci může mít zvolení okrajových podmínek, jsou provedeny čtyři varianty výpočtů. Každou variantu znázorňuje obrázek výše. Rozdíly mezi průběhem teplot mezi jednotlivými variantami je téměř nezatelný, až na variantu C, kde je patrný pokles nejvyšší vnější povrchové teploty z důvodu zanedbání slunečního záření. Průběhy relativních vlhkostí jsou téměř shodné u varianty B a D, kde je zanedbán vliv deště, respektive větru. Tato shoda je způsobena tím, že v případě zanedbání větru zanedbáváme ve výpočtu i vliv deště na svislou plochu. V obou případech je konstrukce u vnějšího povrchu sušší než u variant A a C. V porovnání s variantou A, která obsahuje veškeré venkovní klimatické jevy, je relativní vlhkost na vnitřním povrchu ve variantách B a D stejná. Ve variantě A na vnějším povrchu konstrukce dochází k absorpci dešťové vody, a tím ke zvýšení vlhkosti konstrukce. V případě, kdy je použita venkovní okrajová podmínka bez vlivu slunečního záření (varianta C), dochází k výraznému nárůstu relativní vlhkosti a následně i k rozsáhlé kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce při vnějším povrchu. Zároveň si lze všimnout, že rozsah relativní vlhkosti na vnitřním povrchu je o něco málo vyšší než v případě použití okrajových podmínek bez deště. Při zanedbání slunečního záření hodnota RH na vnitřním povrchu mírně přesahuje hranici 80 %, což značí, že na vnitřním povrchu nedochází ke kondenzaci, ale může vzniknout riziko růstu plísní.



Graf 6 - roční průběh povrchových teplot skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu ve variantách

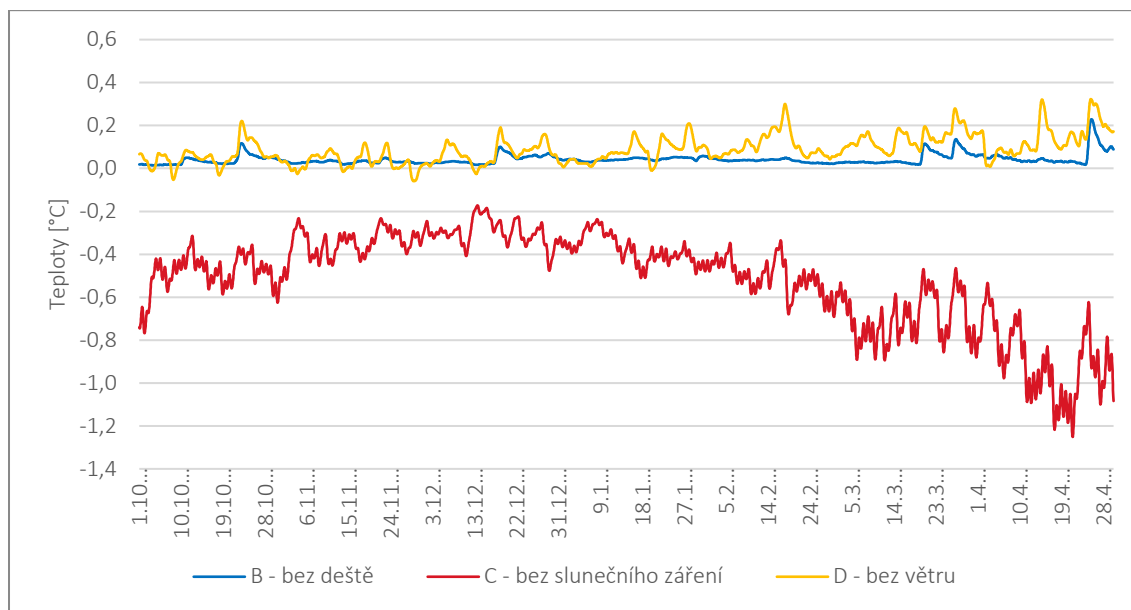
Roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty při aplikaci již zmíněných okrajových podmínek se jen mírně liší. V grafu 7 je vidět, že největší vliv na vnitřní povrchovou teplotu konstrukce má sluneční záření. V případě použití okrajové podmínky bez slunečního záření je křivka teploty položena níže než ostatní. Největší rozdíl mezi teplotami nastává v létě, kdy konstrukce není prohřívána. V zimním období je mezi vnitřními povrchovými teplotami jen minimální rozdíl.



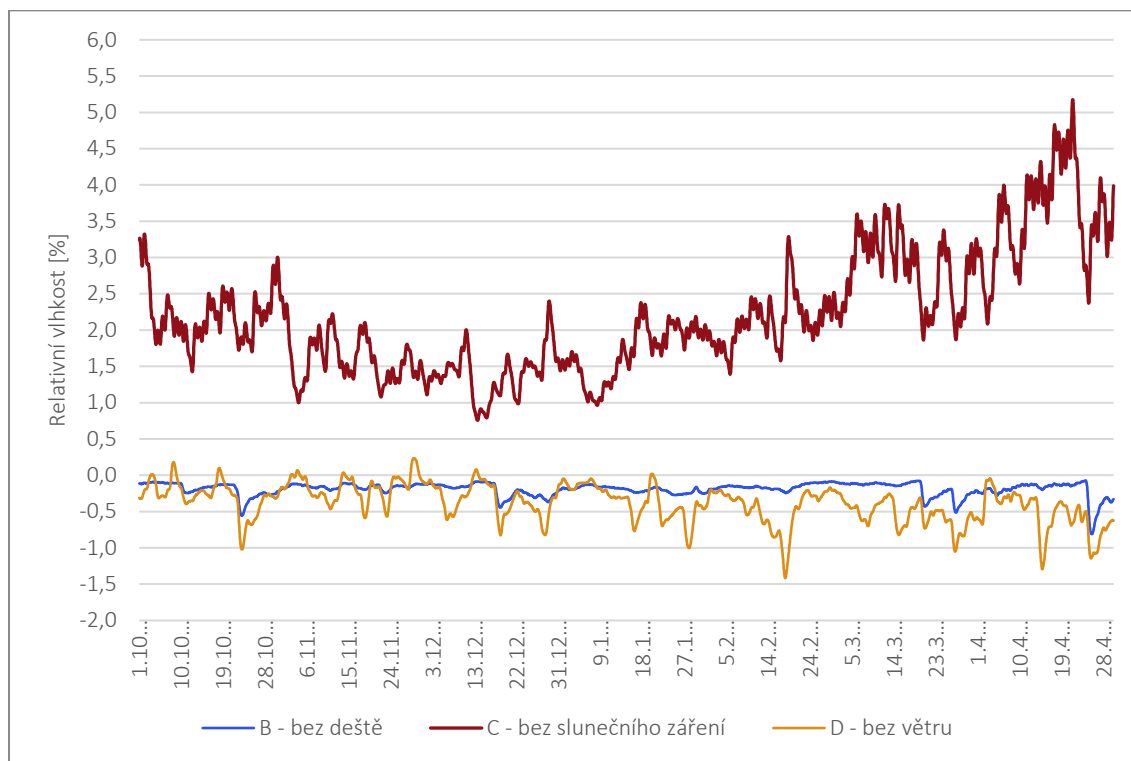
Graf 7 - roční průběh relativních vlhkostí skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu ve variantách

Roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu je podobně jako povrchové teploty mírně odlišný. V grafu výše je možné opět spatřit posun křivky, ale tentokrát nahoru, a to nejvýrazněji v letním období. V zimním období, podobně jako u teplot, se křivky téměř shodují. Odlišnosti jsou viditelné výhradně ve vrcholcích, a to cca o 2 %.

Z grafů tedy vyplývá, že pro potřeby výpočtů nejnižší vnitřní povrchové teploty, rizika kondenzace a tvorby plísní na vnitřním povrchu v otopném (zimním) období pro stávající stav konstrukce je nutné stanovit odchylku od výsledků s okrajovou podmínkou A – kompletní podmínky. Otopné období je vymezeno od září do dubna. V tomto období jsou stanoveny maximální rozdíly výsledků mezi jednotlivými variantami výpočtů. Z rozdílů mezi výsledky je následně stanovena bezpečnostní přírážka, která bude připočtena ke všem výsledkům výpočtů v neustáleném stavu pro stávající stav konstrukce.



Graf 8 – rozdíly vnitřních povrchových teplot skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu oproti variantě A



Graf 9 - rozdíly relativních vlhkostí na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu oproti variantě A



Tabulka 25 - rozptyl výsledků na skladbě obvodové konstrukce ve stávajícím stavu a stanovená přírážka

Varianta	Rozdíly teplot [°C]		Rozdíly relativních vlhkostí [%]	
	max	min	max	min
<b>B</b>	0,12	0,01	-0,07	-0,81
<b>C</b>	-0,17	-1,25	5,17	0,76
<b>D</b>	0,22	-0,06	0,23	-1,42
<b>Stanovená přírážka</b>	0,1	-0,5	2,2	-0,4

Z grafů 9 a 10 je evidentní, že největší odchylka výsledků oproti variantě A je při použití venkovních okrajových podmínek varianty C. Ve variantě D jsou výsledky s menší odchylkou a v opačném směru. Varianta B, kde je zanedbán déšť má nejmenší vliv na výsledky. Z výsledků varianty C je tedy stanovena kladná přírážka k relativní vlhkosti a záporná přírážka k teplotě. Z varianty D je stanovena záporná přírážka k relativní vlhkosti a kladná přírážka k teplotě.

Z této analýzy tedy vyplývá, jaký je rozptyl výsledků. Ten najdeme v přehledné tabulce 25, kde jsou znázorněny i maximální a minimální rozdíly jednotlivých variant. Hodnoty přírážky jsou zaokrouhleny na jedno desetinné místo.

Tabulka 26 - tabulka výsledků a vyhodnocení obvodové konstrukce ve stávajícím stavu

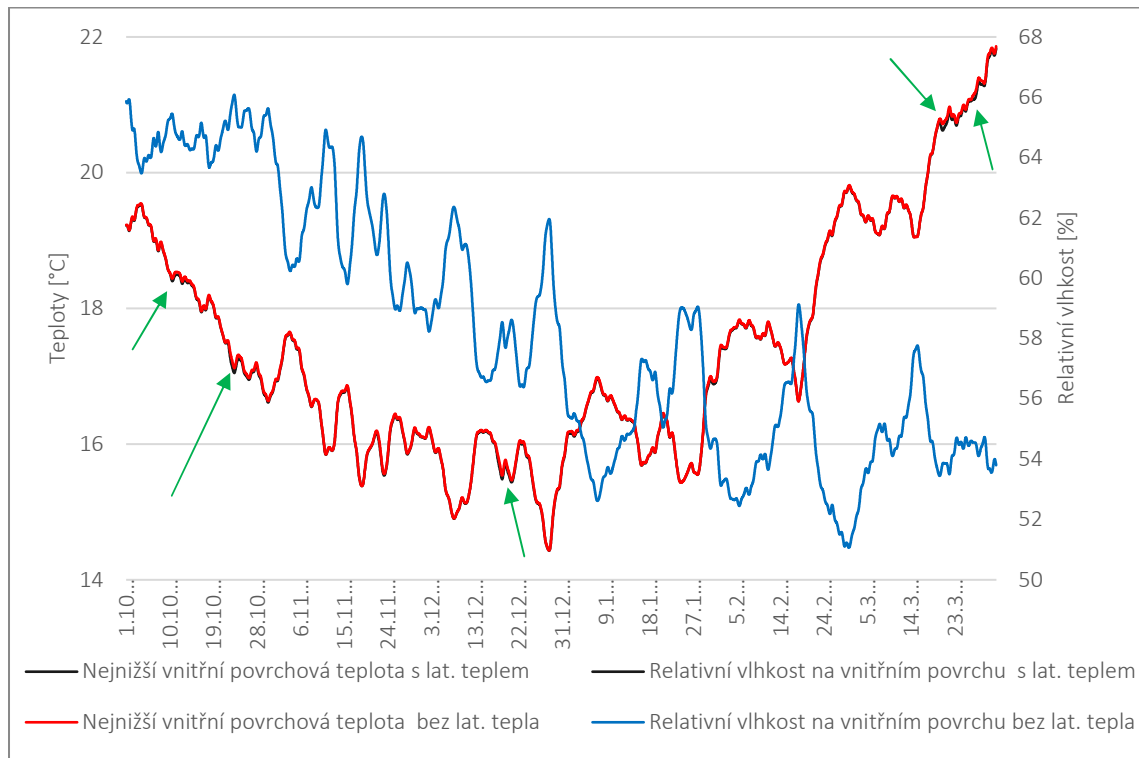
VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$ <small>Varianta A</small>	10,9 [°C]	> 7,81 [°C]	<b>ANO</b>
	10,4 [°C]*	> 11,12 [°C]	<b>NE</b>
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu <small>Varianta A</small>	78,1 [%]	< 100 [%]	<b>ANO</b>
	80,3 [%]*	< 80 [%]	<b>NE</b>

\*hodnota obsahující stanovenou přírážku

Z vyhodnocení je evidentní, že konstrukce z hlediska prostupu tepla je nevyhovující. Součinitel prostupu tepla je v dynamickém výpočtu vyšší, jelikož software počítá s proměnlivou hodnotou součinitele tepelné vodivosti v závislosti na teplotě a vlhkosti. Z hlediska rizika kondenzace vodní páry na povrchu je vyhovující. Na povrchu konstrukce vzniká riziko růstu plísní, poněvadž relativní vlhkost nespĺňuje stanovené kritérium. Riziko kondenzace a růstu plísní v dynamickém stavu již nelze posuzovat podle povrchové teploty jako v ustáleném stavu. Je to způsobeno tím, že relativní vlhkost i teplota v interiéru jsou proměnlivé v čase. Pro každou hodinu v roce tedy platí jiné kritérium teploty, proto jsou tato rizika posuzována podle relativní vlhkosti. Podobné výsledky vyšly ve výpočtech v ustáleném stavu, jak je vidět v tabulce 18. V dynamickém výpočtu vnitřní povrchová teplota na krátký čas dosáhla zhruba o jeden stupeň nižší teploty. Celkově je konstrukce dle dnešních požadavků nevyhovující.



Výsledky výpočtů var. A s vlivem a bez vlivu latentního tepla vypařování a tání



Graf 10 - průběhy nejnižších vnitřních povrchových teplot a relativních vlhkostí ve variantách skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu s a bez vlivu latentního tepla ve výpočtech

Z důvodu problému se stabilitou výpočtů při simulaci 2D detailů s dynamickými okrajovými podmínkami je provedena porovnávací studie. Je zjišťováno, zda vynechané tepelně technické vlastnosti ve výpočtech mají výrazný vliv na výsledky a jestli lze tuto úpravu použít pro simulaci detailů. Studie je provedena pomocí simulace 1D stěny s kompletními venkovními okrajovými podmínkami, kde ve výpočtech je následně vyjmuto latentní teplo tání a vypařování. V grafu 11 jsou výsledky výpočtů porovnány v časovém úseku, kdy nastává největší pokles vnitřní povrchové teploty. Je zřejmé, že rozdíly mezi vnitřními povrchovými teplotami jsou minimální a rozdíly mezi relativními vlhkostmi na vnitřním povrchu jsou nepostřehnutelné.

Studie prokazuje, že vynechání těchto dvou tepelně technických vlastností ve výpočtech má jen minimální vliv na výpočty a jejich výsledky. Proto ve všech následujících simulacích 2D detailů je vyjmuto latentní teplo tání a vypařování.

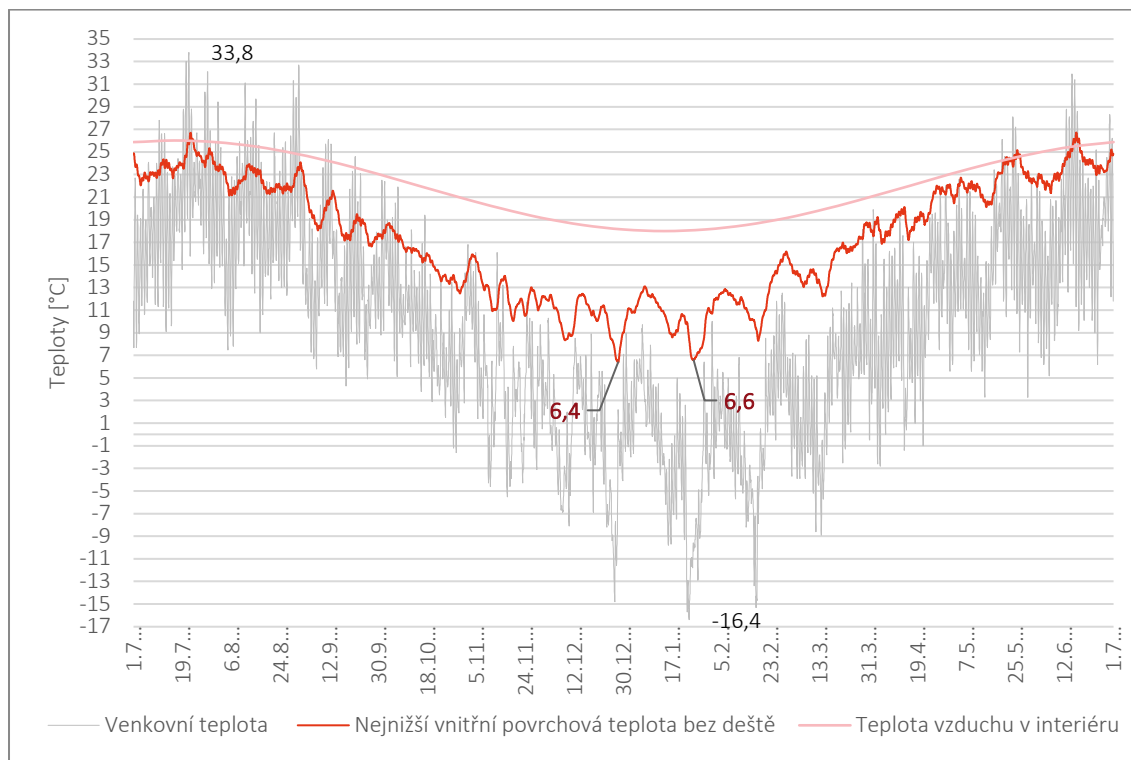




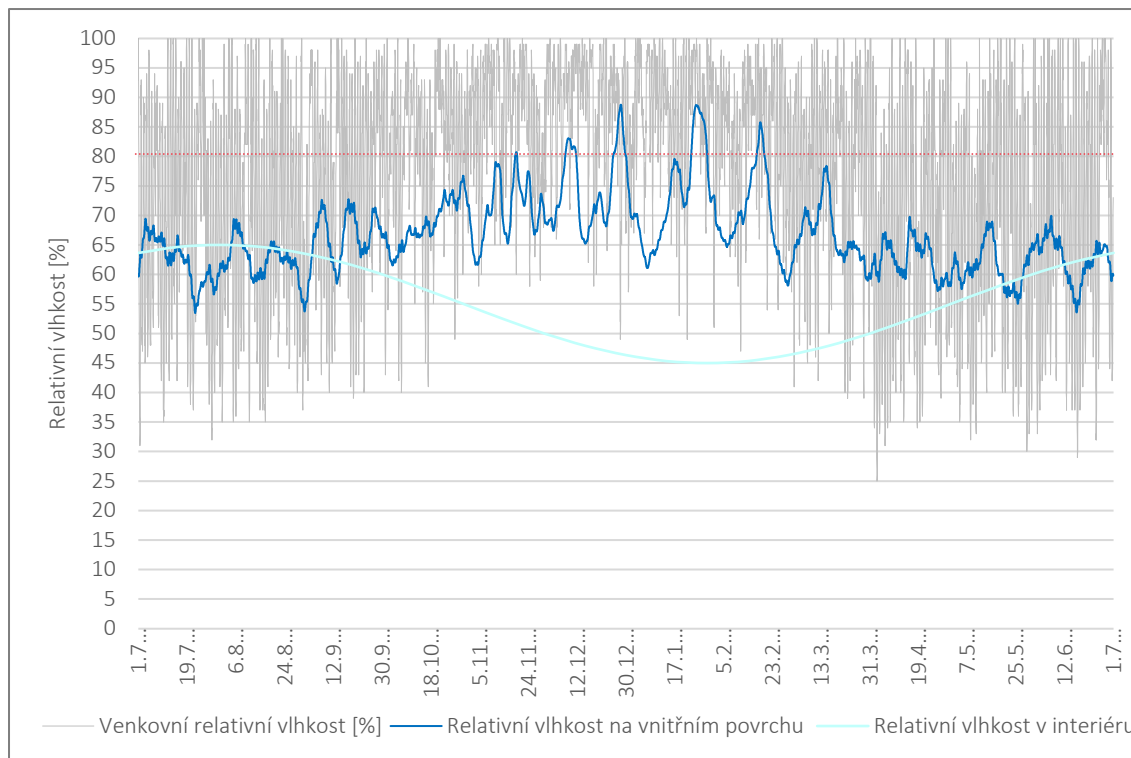
## Detail koutu stěny

Schéma detailu koutu viz kapitola 2.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail koutu stěny*

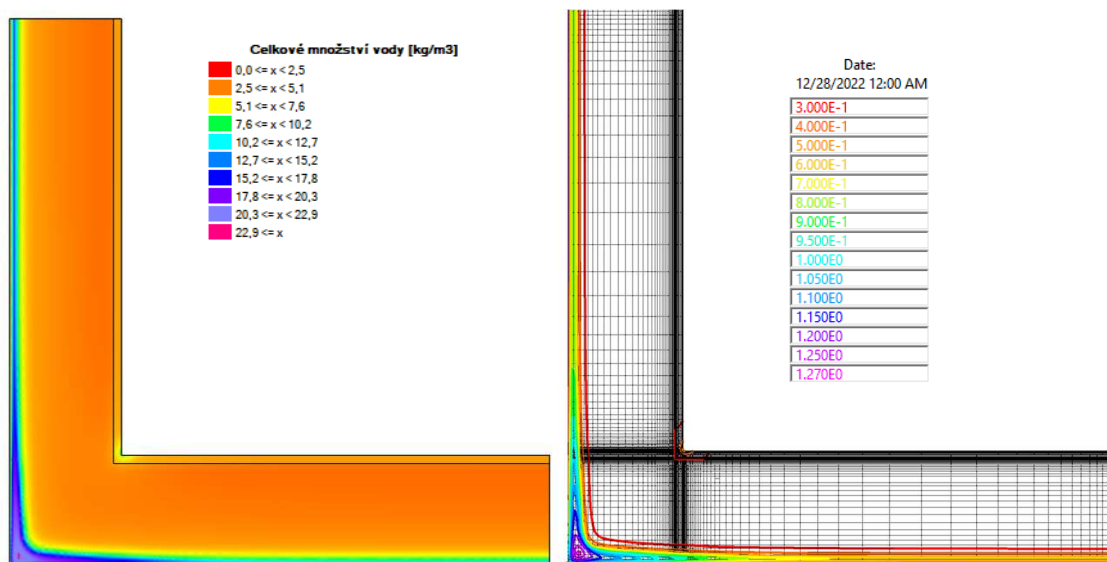
Výsledky



Graf 11 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu koutu stěny ve stávajícím stavu



Graf 12 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu koutu stěny ve stávajícím stavu



Obrázek 41 - hmotnostní vlhkost v [kg/m<sup>3</sup>] a v [%] v době nejnižší vnitřní povrchové teploty na detailu koutu stěny ve stávajícím stavu

Tabulka 27 – vyhodnocení detailu koutu stěny ve stávajícím stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	1,27 [%]	< 3,0 [%]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$ <i>Varianta A</i>	6,4 [°C]	> 7,81 [°C]	NE
	5,9 [°C]*	> 11,12 [°C]	NE
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu <i>Varianta A</i>	88,6[%]	< 100 [%]	ANO
	90,8 [%]*	< 80 [%]	NE

\*hodnota obsahující stanovenou přírážku

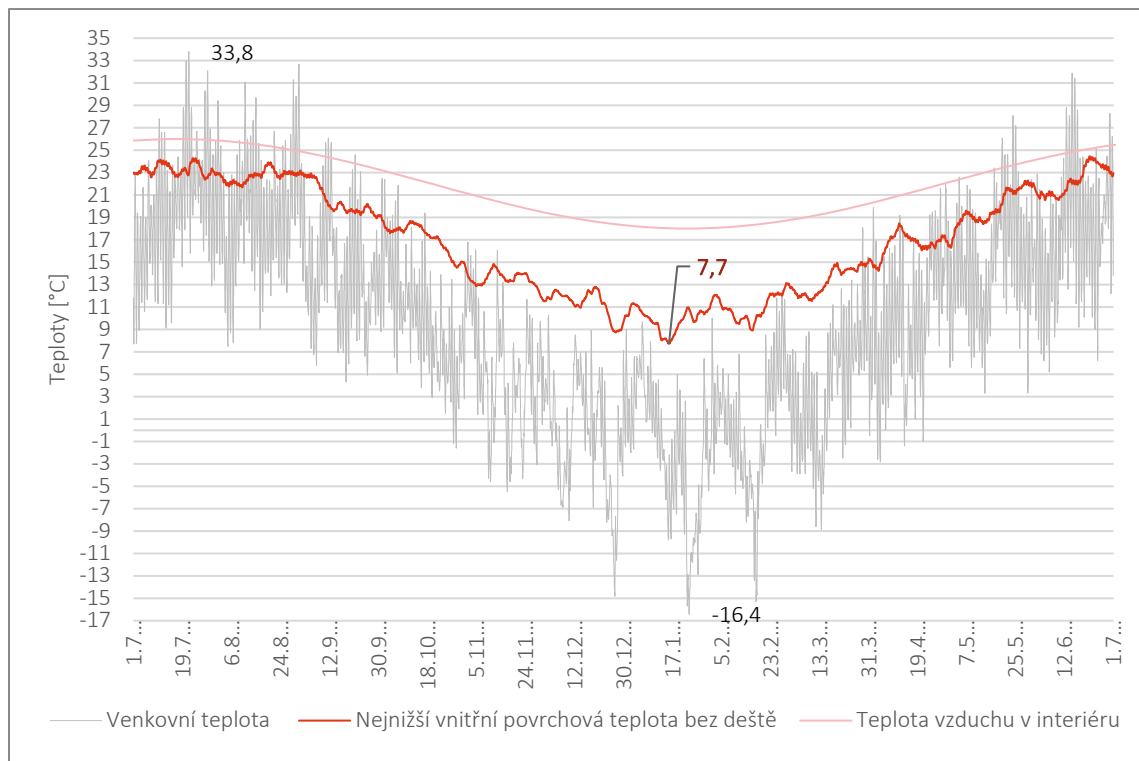
Dle tabulky výsledků je vidět, že nejnižší vnitřní povrchová teplota v detailu vychází velice podobně jako v ustáleném stavu. Můžeme zde ale spatřit rozdíly, oproti ustálenému stavu. Zde nedochází ke kondenzaci na vnitřním povrchu. Je zde pouze riziko vzniku plísní na vnitřním povrchu. Tento jev v průběhu roku nastane po dobu 457 hodin bez přírážky, což odpovídá 19 dnům. Po přidání stanovené přírážky tento jev nastane dokonce 686 hodin, což odpovídá 28,6 dnům. Tato data tedy potvrzují, že je velmi vysoká pravděpodobnost výskytu plísní na vnitřním povrchu tohoto detailu z pohledu normového hodnocení.



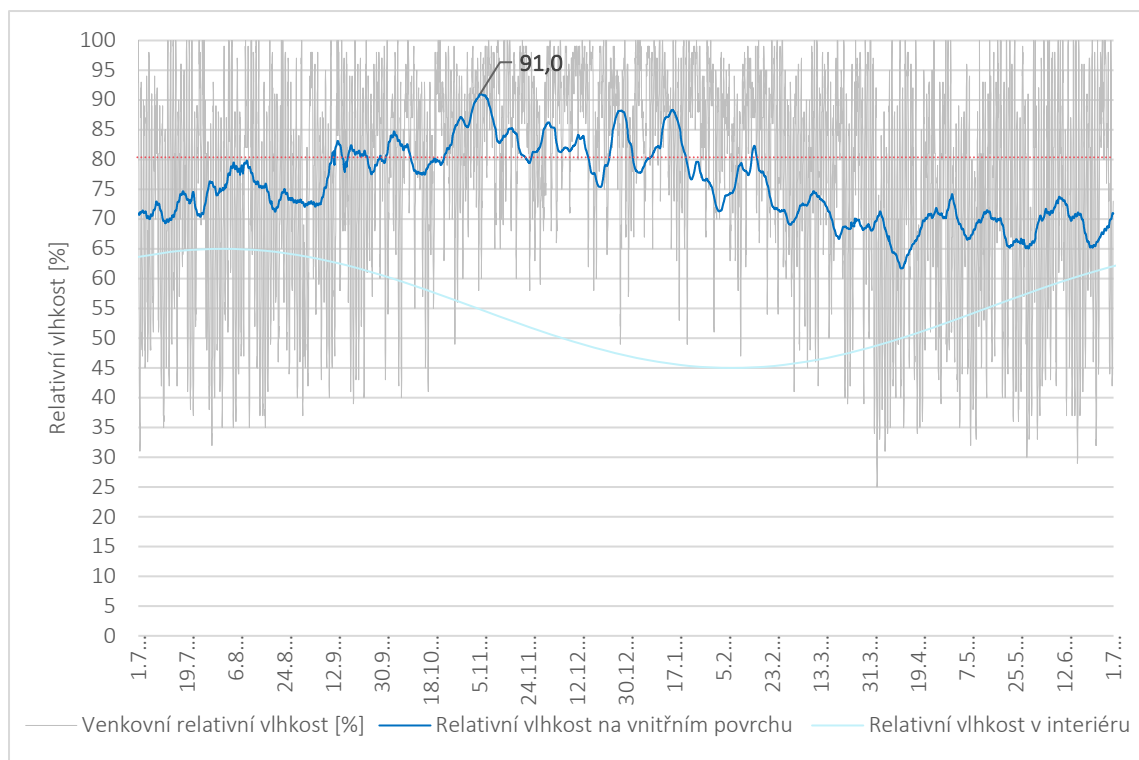
## Detail soklu

Schéma detailu soklu viz kapitola 2.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail soklu*

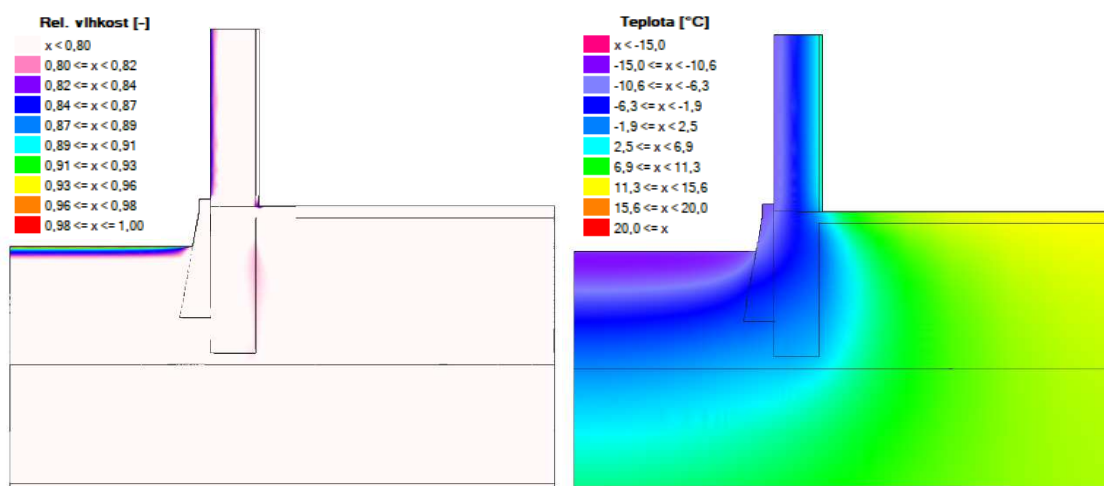
### Výsledky



Graf 13 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu soklu ve stávajícím stavu



Graf 14 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu soklu ve stávajícím stavu



Obrázek 42 - průběh relativních vlhkostí a pole teplot v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu soklu ve stávajícím stavu

Tabulka 28 – vyhodnocení detailu soklu ve stávajícím stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	1,27 [%]	< 3,0 [%]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$ <i>Varianta A</i>	7,7 [°C]	> 7,81 [°C]	NE
	7,2 [°C]*	> 11,12 [°C]	NE
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu <i>Varianta A</i>	91,0 [%]	< 100 [%]	ANO
	93,2 [%]*	< 80 [%]	NE

\*hodnota obsahující stanovenou přirážku

Dle tabulky výsledků je vidět, že nejnižší vnitřní povrchová teplota v detailu vychází o něco vyšší než v ustáleném stavu. Oproti ustálenému stavu zde podle výpočtů nedochází ke kondenzaci na vnitřním povrchu. Je možné si všimnout, že relativní vlhkost disponuje velice vysokou hodnotou. Vzniká zde pouze riziko tvorby plísní na vnitřním povrchu. Tento jev v průběhu roku nastane po dobu 2434 hodin bez přirážky, což odpovídá 101,4 dnům. Po přidání stanovené přirážky tento jev nastane dokonce 3466 hodin, což odpovídá 144,4 dnům. Tato data tedy potvrzují, že se vyskytují plísně na vnitřním povrchu řešeného detailu.



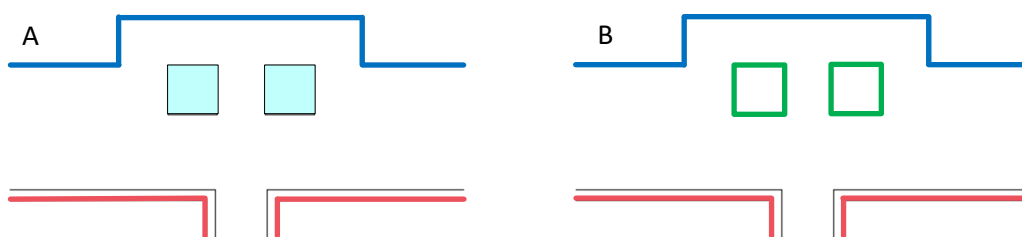
## Detail komína

Schéma detailu komína viz kapitola 2.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail komína*

Jak již bylo řečeno ve výpočtech v ustáleném stavu, jedná se o půdorysný detail komína, který se nachází v úrovni mezibytové příčky. Tento komín se nachází na obou protilehlých fasádách a je typický pro tento typ domků. Komín tedy může výrazně ovlivňovat teplotu na vnitřním povrchu koutů v místě mezibytové příčky. Opět je u tohoto detailu předpokládáno, že se jedná o nefunkční komín. Výpočet je znovu proveden ve dvou variantách. První varianta je ta, která uvažuje s neproudícím vzduchem v komíně. Ve druhé variantě je uvažováno s prouděním vzduchu v komíně z důvodu netěsností otvorů. V dutině je tedy modelována okrajová podmínka imitující proudění vzduchu. V podstatě se jedná o venkovní okrajovou podmínku, kde jsou odstraněny vlivy slunce, deště a sálání vůči obloze. Vliv větru je zredukován na  $\frac{1}{4}$  původního.

### Variety výpočtů:

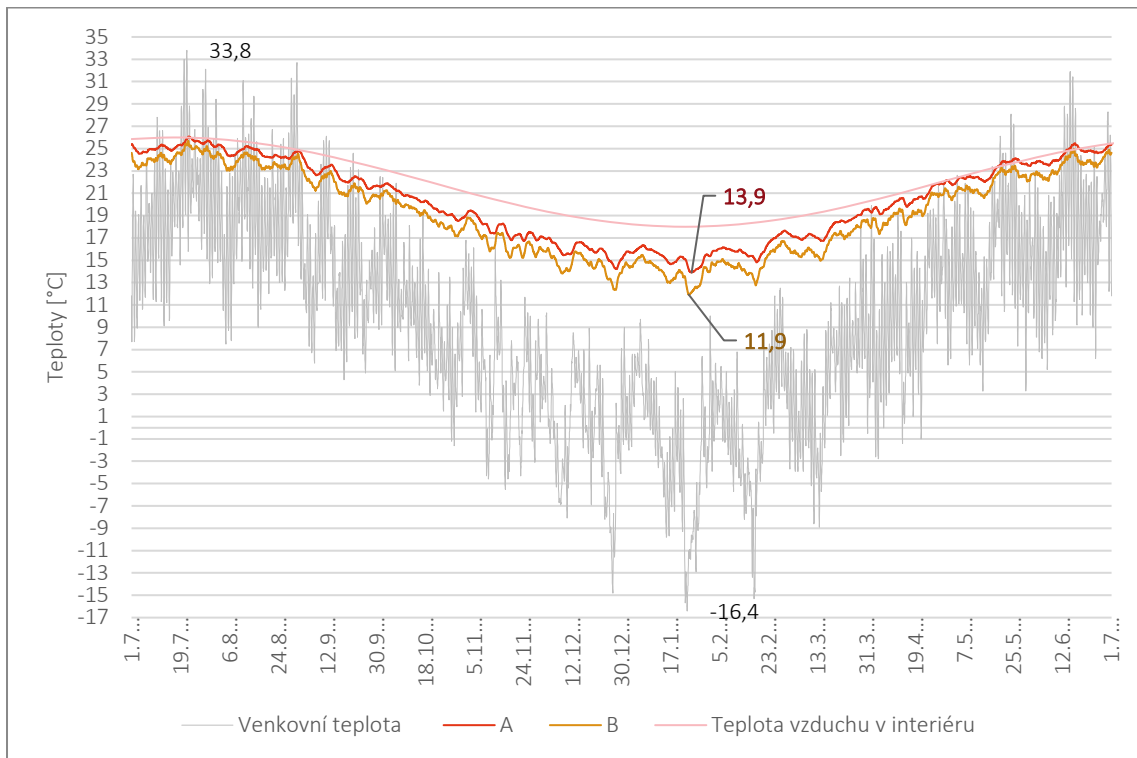
- A. Dutina je simulována pomocí materiálu vzduch
- B. Dutina je simulována okrajovými podmínkami



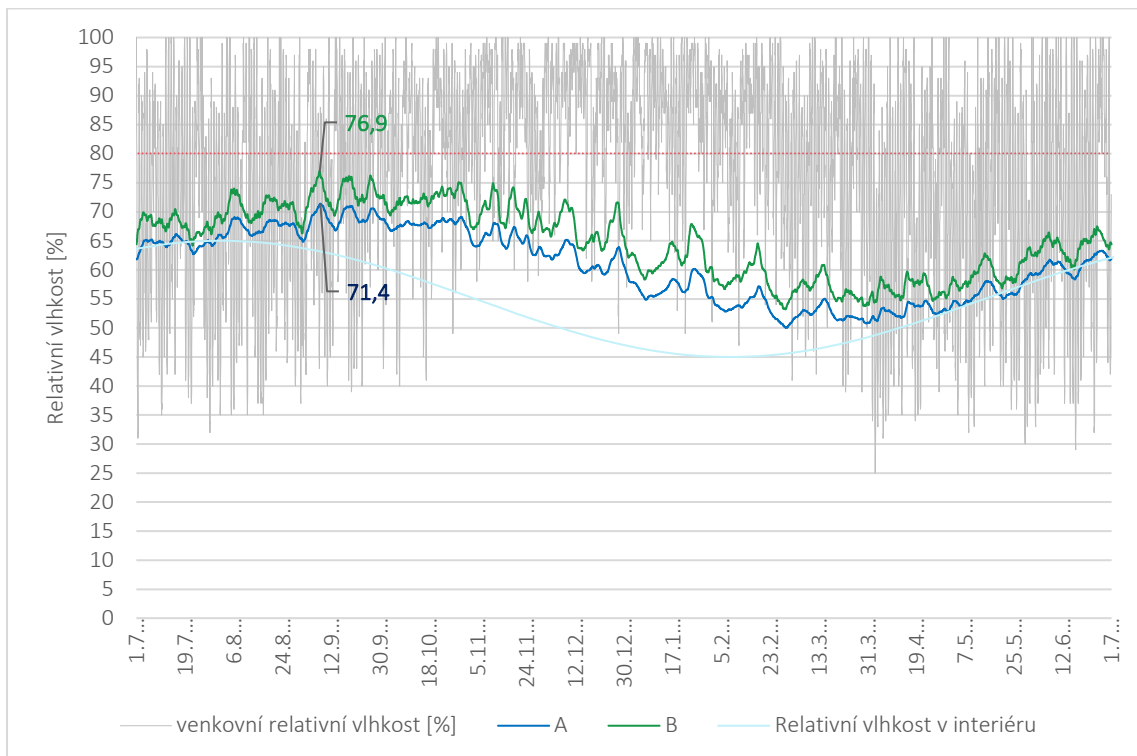
Obrázek 43 - schéma okrajových podmínek detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách



## Výsledky



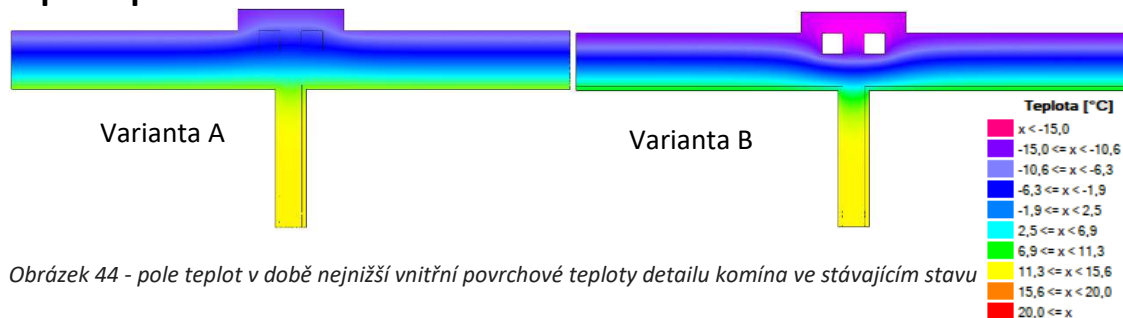
Graf 15 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína ve stávajícím stavu



Graf 16 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu komína ve stávajícím stavu

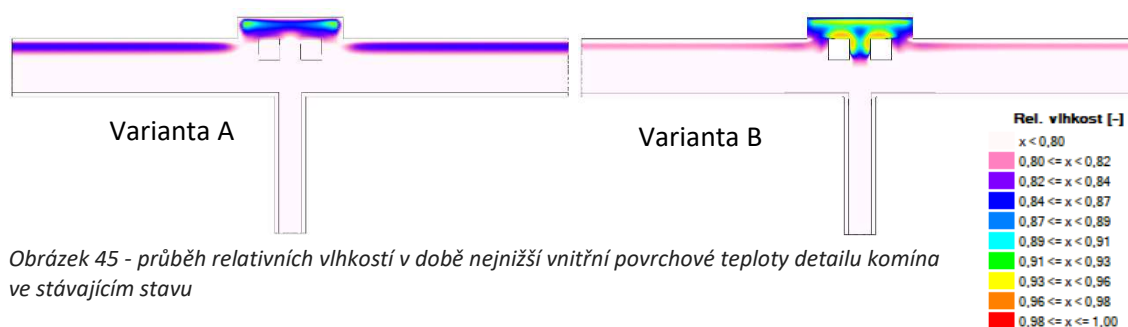


## Teplotní pole



Obrázek 44 - pole teplot v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína ve stávajícím stavu

## Relativní vlhkosti



Obrázek 45 - průběh relativních vlhkostí v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína ve stávajícím stavu

Tabulka 29 – vyhodnocení detailu komína ve stávajícím stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	A	1,15 [%]	< 3,0 [%]	ANO
	B	1,38 [%]		ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$ <i>Okrajové podmínky varianta A</i>	A	13,9 [°C]	> 7,81 [°C]	ANO
		<b>13,41 [°C]*</b>	> 11,12 [°C]	ANO
	B	11,9 [°C]	> 7,81 [°C]	ANO
		<b>11,4 [°C]*</b>	> 11,12 [°C]	NE
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu <i>Okrajové podmínky varianta A</i>	A	71,39[%]	< 100 [%]	ANO
		<b>73,59 [%]*</b>	< 80 [%]	ANO
	B	76,96[%]	< 100 [%]	ANO
		<b>79,16 [%]*</b>	< 80 [%]	ANO

\*hodnota obsahující stanovenou přírážku

Nejnižší vnitřní povrchové teploty ve variantách výpočtů A jsou sobě velmi blízké. Jedná se o výpočet, kdy v dutině komína je simulován vzduch jako materiál. Relativní vlhkost na vnitřním povrchu dosahuje poměrně velkých hodnot, ale stále nepřekračuje 80 %. Je tedy zřejmé, že pokud je dutina zajištěna proti proudění vzduchu v ní, mohl by detail ve stávajícím stavu vyhovovat.

Vnitřní povrchová teplota ve variantách výpočtů B je v dynamickém výpočtovém modelu vyšší cca o 1,5 °C oproti výpočtu v ustáleném stavu. Podle hodnocení v ustáleném stavu je detail takto nevyhovující z hlediska tvorby plísní na vnitřním povrchu. Dle dynamického výpočtu relativní vlhkost na vnitřním povrchu dosahuje maximálně hodnot těsně pod kritický bod. Tento detail je tedy dle dynamického výpočtu se stanovenými okrajovými podmínkami vyhovující. V případě jiných okrajových podmínek pro vnitřní prostředí by tomu nemuselo tak být.

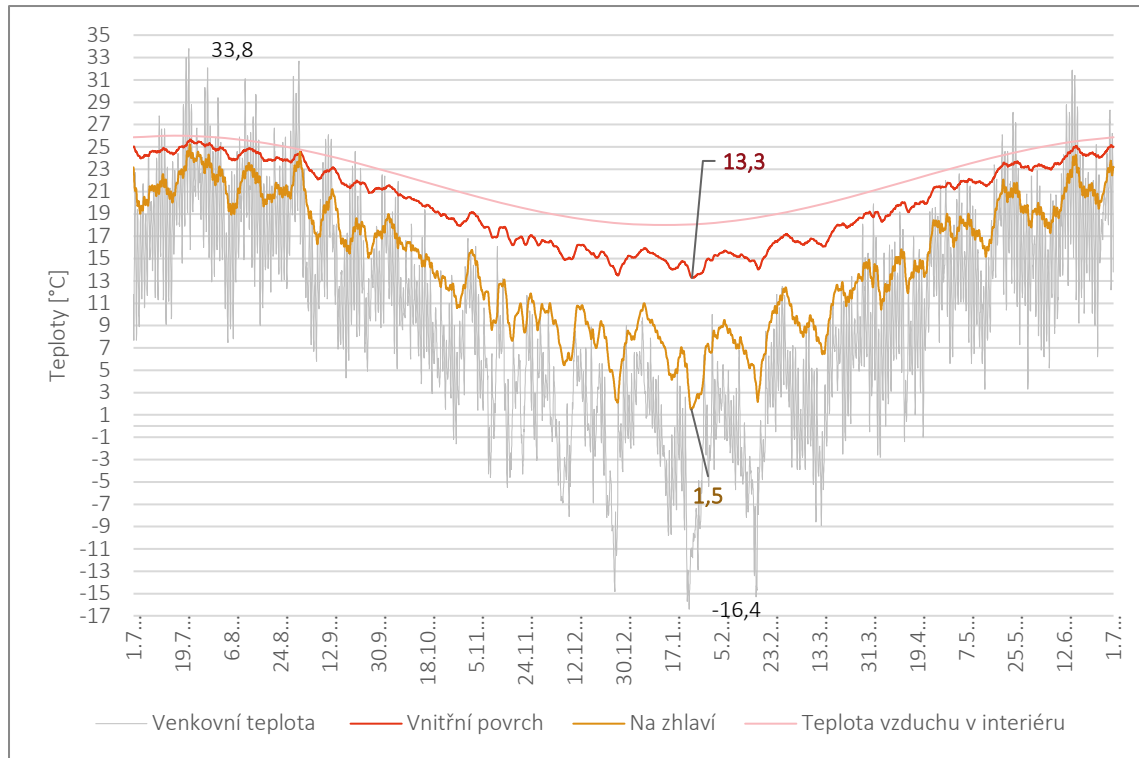




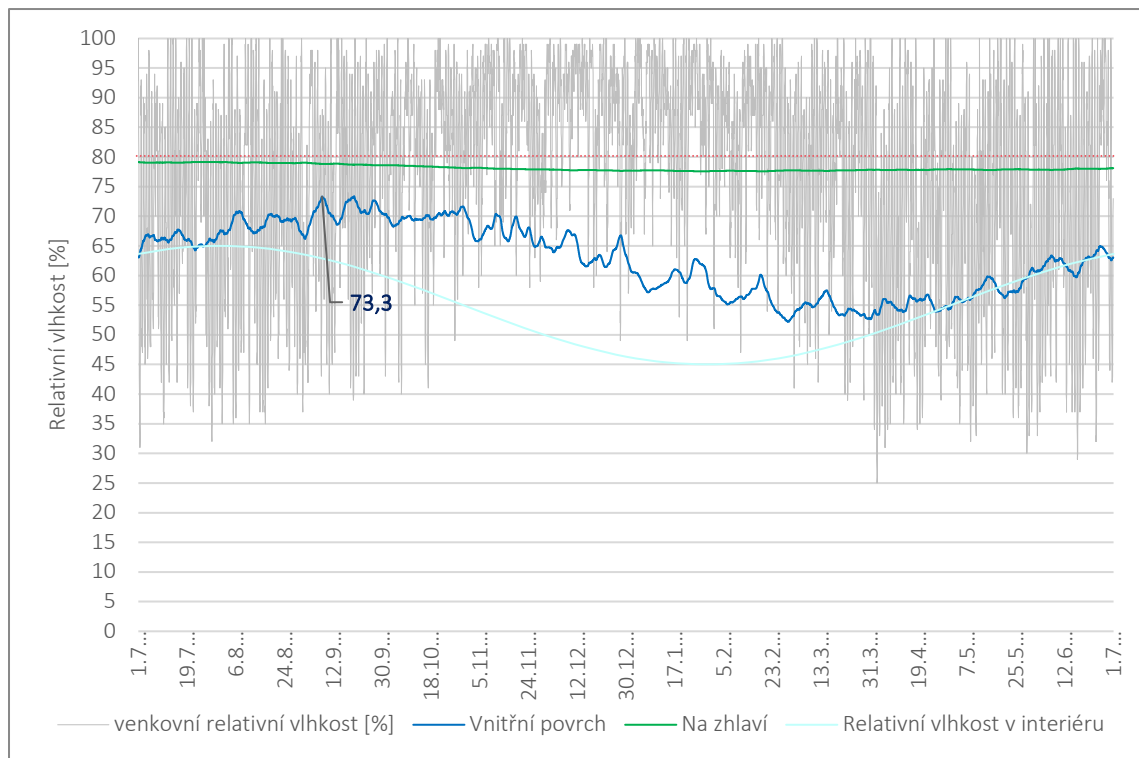
## Detail zhlaví trámu

Schéma detailu zhlaví trámu viz kapitola 2.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail zhlaví trámu*

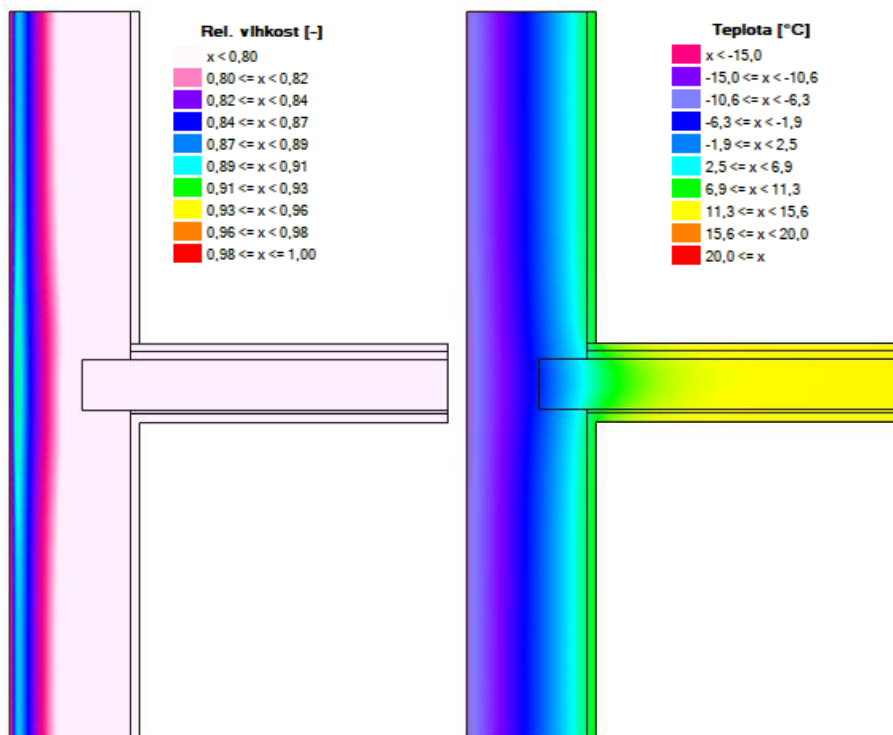
Výsledky



Graf 17 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu



Graf 18 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu



Obrázek 46 - průběh relativních vlhkostí a teplotní pole v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu

Tabulka 30 – vyhodnocení detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	0,772 [%]	< 3,0 [%]	ANO
Maximální hmotnostní vlhkost dřevěných prvků	14,49 [%]	< 18,0 [%]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	13,3 [°C]	> 7,81 [°C]	ANO
	12,5 [°C]*	> 11,12 [°C]	ANO
Teplota zhlaví trámu	1,5 [°C]	> 7,81 [°C]	NE
	1,0 [°C]*	> 11,12 [°C]	NE
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu	73,3 [%]	< 100 [%]	ANO
	75,5 [%]*	< 80 [%]	ANO
Relativní vlhkost na zhlaví trámu	79,2 [%]	< 100 [%]	ANO
	81,4 [%]*	< 80 [%]	NE

\*hodnota obsahující stanovenou přírážku





Teplota na zhlaví trámu je posuzována dle stejných kritérií jako vnitřní povrchová teplota. Předpokládá se totiž, že v místě zhlaví jsou vlhkostní podmínky stejné jako ve vnitřním prostředí. Tedy že vlhkost z interiéru může volně pronikat do konstrukce stropu z důvodu netěsnosti konstrukce a následně proniká i do kapsy trámu, kde je uloženo zhlaví trámu. Vodní páry do konstrukce mohou pronikat různými netěsnostmi jako podlahou, podbitím, prasklinami v omítce apod. Tyto netěsnosti bohužel není možné přesně definovat v modelu.

Vnitřní povrchová teplota i relativní vlhkost na vnitřním povrchu v dynamickém výpočtovém modelu ve stávajícím stavu detailu zhlaví je vyhovující. Dle grafu relativních vlhkostí v průběhu roku je jasné, že zhlaví trámu je celoročně vystaveno vysokým relativním vlhkostem, které se blíží kritickým hodnotám. Po uplatnění stanovené přírážky je vlhkost ve zhlaví trámu nevyhovující po dobu 5855 h. Teplota na zhlaví trámu je výrazně nižší, než je teplota rosného bodu. Pokud tedy platí předpoklad, že vlhkost z interiéru může volně pronikat do konstrukce stropu a následně i do kapsy trámu, dochází v ní ke kondenzaci vodních par. Zhlaví trámu je tedy vystaveno velmi nepříznivým vlivům. Tyto vlivy mohou nastartovat proces hnití, napadení škůdci nebo plísněmi. Předpokládá se tedy, že ve stávajícím stavu jsou trámy ve velmi špatném, možná až havarijním stavu. Proto je nutné navrhnout řešení tohoto detailu tak, aby se nový trám nacházel ve vhodném prostředí.



## 2.2.5. Souhrn výsledků



Tabulka 31 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů ve stávajícím stavu z dynamického výpočtového modelu

DETAIL	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE	POŽADAVKY	VYHOVUJE
STĚNA	10,4 [°C]*	> 12,89 [°C] plísňě 	NE	> 9,53 [°C] kondenzace 	ANO
KOUT	5,9 [°C]*		NE		NE
SOKL	7,2 [°C]*		NE		NE
KOMÍN	A 13,4 [°C]*		ANO		ANO
	B 11,4 [°C]*		NE		ANO
TRÁM	P 12,5 [°C]*		NE		ANO
	Z 1,0 [°C]*	NE	NE		

A,B = varianty výpočtů, P = vnitřní povrch konstrukce detailu, Z = zhlaví trámu

\*hodnota obsahující stanovenou přírážku

Tabulka 32 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů dle vypočtených relativních vlhkostí v dynamickém výpočtovém modelu

DETAIL	Maximální hodnoty [%]	POŽ. 	VYH.	Roční doba překročení [h]	POŽ. 	VYH.
STĚNA	80,33 [%]*	80 % ^	NE	11	< 100 %	ANO
KOUT	90,79 [%]*		NE	686		ANO
SOKL	93,21 [%]*		NE	3466		ANO
KOMÍN	A 72,59 [%]*		ANO	0		ANO
	B 79,16 [%]*		ANO	0		ANO
TRÁM	P 75,5 [%]*		ANO	0		ANO
	Z 81,4 [%]*	NE	5855	ANO		

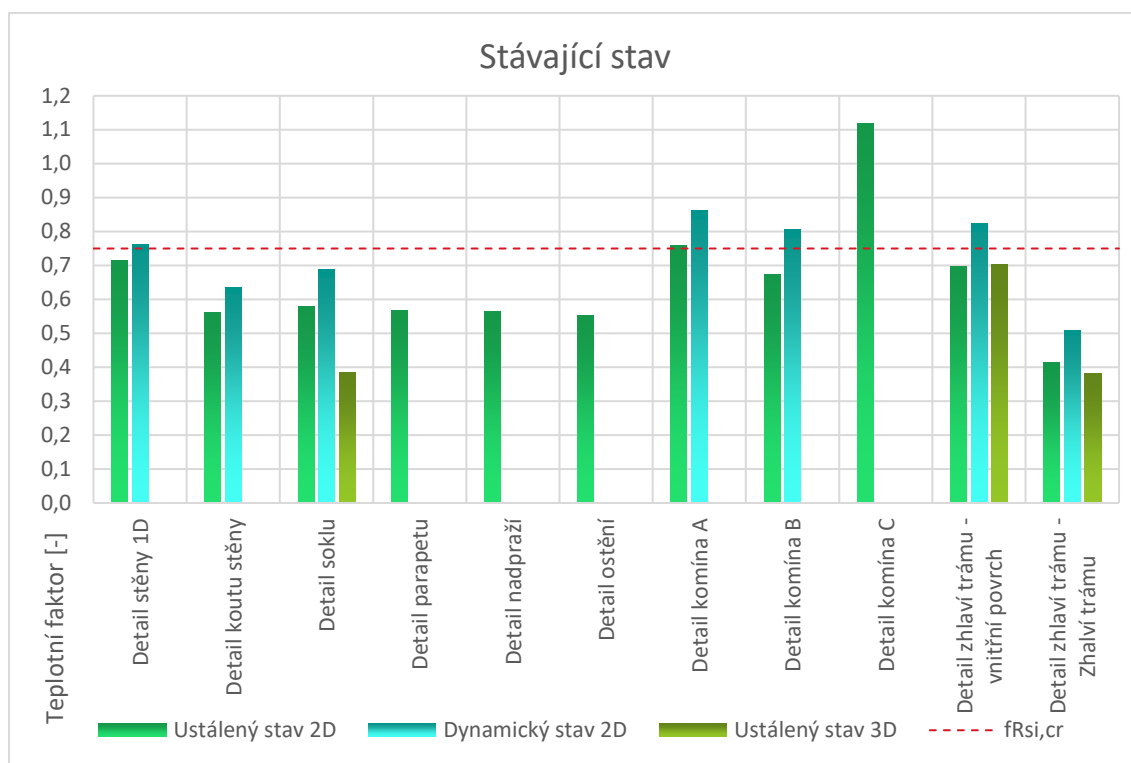
A,B = varianty výpočtů, P = vnitřní povrch konstrukce detailu, Z = zhlaví trámu

\*hodnota obsahující stanovenou přírážku

Z porovnání výsledků z dynamického výpočtového modelu je vidět, že větší část detailů je nevyhovující z hlediska tvorby plísní na vnitřním povrchu konstrukce. Nejhoršími detaily v tomto ohledu jsou kout a sokl. Mezní hodnota v těchto detailech je překročena po velmi dlouhou dobu. To nasvědčuje tomu, že v budově v místech těchto detailů je možné s velkou pravděpodobností nalézt plísň. Výsledky výpočtů jsou velice vázané na to, jaké jsou zvoleny okrajové podmínky. Proto není možné zaručit, že detaily, které z výpočtů vystupují jako vyhovující, jsou i ve skutečnosti vhodné. To platí i obráceně.



## 2.3. Vyhodnocení výsledků



Graf 19 - vyhodnocení teplotního faktoru vnitřního povrchu všech detailů ve stávajícím stavu

Z vyhodnocení všech detailů dle teplotního faktoru vnitřního povrchu lze říci, že téměř všechny zkoumané detaily ve stávajícím stavu jsou nevyhovující. V dynamickém výpočtovém modelu oproti ustálenému stavu je ve stávajícím stavu vždy dosaženo lepších výsledků. Některé detaily je tedy možné vyhodnotit dle normy ČSN EN 15026 jako vyhovující. Příkladem může být detail komínu, který dle dynamického výpočtového modelu je ve všech variantách vyhovující. Z výsledků je tedy zřejmé, že i přes několik vyhovujících detailů je nutné navrhnout stavebně technické řešení obvodového pláště.

## 2.4. Dílčí závěr

Téměř všechny zkoumané detaily dle vyhodnocení se jeví jako nevyhovující. Ve většině z nich totiž dochází k riziku tvorby plísní nebo dokonce ke kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu. Zda v budovách podobného typu skutečně dochází k tvorbě plísní nebo kondenzaci vodních par není zjišťováno. Takovýto průzkum je nad rámec zadání diplomové práce. Zároveň toto nebylo možné vykonat z důvodu umístění budov a současné situace ohledně pandemie. V řešené budově v současné chvíli není možné říct, jaké případné další poruchy nastávají, neboť je již několik let neobydlená. Je tedy nutné se spolehnout na výsledky výpočtu stávajícího stavu a navrhnout vhodná řešení detailů.



## 3. Návrh stavebně technického řešení obvodového pláště

Cílem této kapitoly je návrh nejvhodnějšího tepelně technického řešení obvodového pláště tak, aby splňoval současné tepelně technické požadavky, pokud je to možné. Pro zateplení obvodového pláště se nabízí hned dva způsoby zateplení, a to podle umístění buď kontaktní zateplovací systém na venkovní straně obvodového pláště, nebo izolace na vnitřní straně konstrukce. Obě tyto varianty mají své výhody a nevýhody, proto se tato kapitola zabývá posouzením obou způsobů zateplení. Je posouzena vhodnost typu zateplení pro řešený objekt a pro další návrh řešení obvodového pláště a detailů je vybrán pouze jeden nejvhodnější způsob zateplení. Modelování detailu je provedeno obdobně jako v předchozí kapitole ve stacionárním a dynamickém výpočtovém modelu.

### 3.1. Stacionární výpočtový model

#### 3.1.1. Metody výpočtů

##### Hodnocené parametry:

Metody výpočtů stacionárního výpočtového modelu jsou totožné jako ve výpočtech stávajícího stavu viz kapitola 2.1.1. *Metody výpočtů* až na několik výjimek popsanych níže.

- Riziko kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu
  - Jedná se o nežádoucí jev na vnitřním povrchu konstrukce. Je závislý především na množství vodní páry obsažené ve vzduchu k povrchu přiléhajícím. Množství vodní páry je také charakterizováno relativní vlhkostí vzduchu, která je závislá na teplotě vzduchu. Pokud povrchová teplota konstrukce klesne pod teplotu rosného bodu (teplota, při které relativní vlhkost vzduchu dosáhne  $\varphi_i = 100\%$  a vzduch je vodní párou plně nasycen), dochází ke kondenzaci vodních par na povrchu konstrukce.
  - Teplota rosného bodu je stanovena pomocí pomocného výpočtu v softwaru Area 2017 EDU dle požadavků ČSN 730540-2. Po dosazení všech potřebných okrajových podmínek je teplota rosného bodu stanovena  **$T_w = 8,26\text{ °C}$** .
- Riziko růstu plísně na vnitřním povrchu
  - Podobně jako kondenzace vodní páry na povrchu je i tento jev nežádoucí. Jeho vzniku předchází stejné faktory jako u kondenzace. Riziko nastane při povrchové teplotě, při které relativní vlhkost vzduchu překročí  $\varphi_i = 80\%$ . Tato teplota se stanovuje pomocí teplotního faktoru vycházejícího z okrajových podmínek dle normy ČSN 730540-2. Pro výplně otvorů či kovové konstrukce se připouští povrchová relativní vlhkost  $\varphi_i = 100\%$ .
  - Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $\vartheta_{ai}$  pro určení kritické vnitřní povrchové teploty je stanovena dle normy ČSN 730540-3, kde návrhová vnitřní teplota  $\vartheta_i$  je zvýšena přírážkou na vyrovnání rozdílů mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch  $\Delta\vartheta_{ai}$ , která je stanovena orientačně z přílohy normy I.2. jako 0,6 K. V pomocném výpočtu je tedy počítáno s hodnotou  $\vartheta_{ai} = 20,6\text{ °C}$



- Návrhová relativní vlhkost vnitřního prostředí v zimním období se uvažuje  $\varphi_i = 50$  %. Relativní vlhkost vnitřního prostředí  $\varphi_{i,r}$  pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce se pro stavební konstrukce stanoví vztahem

$$\varphi_{i,r} = \varphi_i - 10 + \Delta\varphi_i \quad (8)$$

Kde  $\Delta\varphi_i = 5$  % a je bezpečnostní přírůžkou podle ČSN EN ISO 13 778 nebo dle ČSN 73 0540 - 3 tabulka I.3 – Bezpečnostní vlhkostní přírůžka. Relativní vlhkost pro stanovení požadavku je tedy  $\varphi_{i,r} = 45$  %.

- Tato teplota je taktéž stanovena pomocným výpočtem softwaru Area 2017 EDU dle požadavků ČSN 730540-2. Po dosažení všech potřebných okrajových podmínek je teplota stanovena  $T_p = 11,58$  °C.

Obvodový plášť by měl pokud možno splňovat současné tepelně technické požadavky, z tohoto důvodu je tloušťka tepelné izolace navrhována tak, aby konstrukce vyhovovala požadovaným hodnotám součinitele prostupu tepla UN,20 dle ČSN 73 0540-2. Výpočty jsou uskutečněny ve dvou variantách realizace tepelné izolace:

- A. Venkovní kontaktní zateplovací systém
- B. Vnitřní zateplovací systém

#### **Vyhodnocení výsledků:**

Metoda porovnání výsledků z ustáleného a dynamického výpočtového modelu je totožná jako v kapitole 2.1.1. *Metody výpočtů*.

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu pro navrhovaný stav konstrukce je stanoven hodnotou  $f_{Rsi} = 0,747$ . V grafickém vyhodnocení všech výsledků je tato hodnota zaokrouhlena na dvě desetinná místa, a to na hodnotu  $f_{Rsi} = 0,75$ .

#### **Klasifikace vlhkosti zdiva**

Viz kapitola 2.2.1. *Metody výpočtů*.





### 3.1.2. Vstupní údaje

Viz kapitola 2.1.2. *Vstupní údaje*

Venkovní zateplení

V první řadě je stanovena tloušťka tepelného izolantu tak, aby vyhověl požadavkům na stejné umístění výplně okenního otvoru. Z legislativních požadavků je tedy tloušťka izolantu stanovena na 100 mm.

Dále jsou porovnávány některé materiály tepelného izolantu a následně vybrán jeden nejvhodnější pro vybranou budovu a typ zateplení. Porovnání je provedeno nejen z hlediska splnění požadavku na součinitel prostupu tepla, ale i z hlediska ceny a environmentálního dopadu viz Příloha č. 2. Pomocí vyhodnocení je vybrán Expandovaný polystyrén pro zateplení obvodového pláště budovy. Jedná se o materiál běžně používaný pro zateplování budov. Z hlediska vyhodnocení se nejedná o nejlepší tepelný izolant, ale je poměrně dobře ohodnocen. Z hlediska ceny je tento materiál nejvýhodnější a součinitel prostupu tepla je také poměrně dobrý.

Vnitřní zateplení

Z důvodů vyhovění požadavkům na zvýšení vnitřních povrchových teplot konstrukce je navržen difúzně otevřený systém vnitřního zateplení. Pro vnitřní zateplení jsou vybrány hygroskopické tepelně izolační desky z kalcium silikátu. Z důvodů zachování co největšího i tak malého vnitřního prostoru je tloušťka izolantu stanovena na 50 mm. Je jasné, že s touto tloušťkou izolace při vnitřním zateplení není možné splnit požadavek na součinitel prostupu tepla.

### 3.1.3. Zjednodušení a úpravy

Je provedeno zjednodušení tvaru okenního rámu pro výpočet vlastností velkých vzduchových mezer v rámu. Oblé a šikmé hrany jsou nahrazeny jednoduchými tvary obdélníku. Při modelování je snaha tvary okna co nejméně zjednodušovat, tak aby co nejlépe odpovídaly skutečnému tvaru. Těsnění okenních rámu je taktéž nahrazeno jednoduchými tvary.

Ve výpočtech 3D detailů soklu je provedeno zjednodušení tvaru šikmého betonového soklu na dva jednoduché obdélníkové tvary. První obdélník nahrazující soklový beton nad zemí je vymodelován o průměrné šířce šikmého soklu nad zemí. Stejným způsobem je vymodelován i zjednodušující obdélník pod zemí. Navrhovaná tepelná izolace následně obepíná konstrukci o navržené tloušťce stejným způsobem.

Vzduchová dutina ve zhlaví se objevuje až po přestavbě a zateplení konstrukce. Z toho důvodu je dutina modelována materiálem z databáze softwaru Wufi.

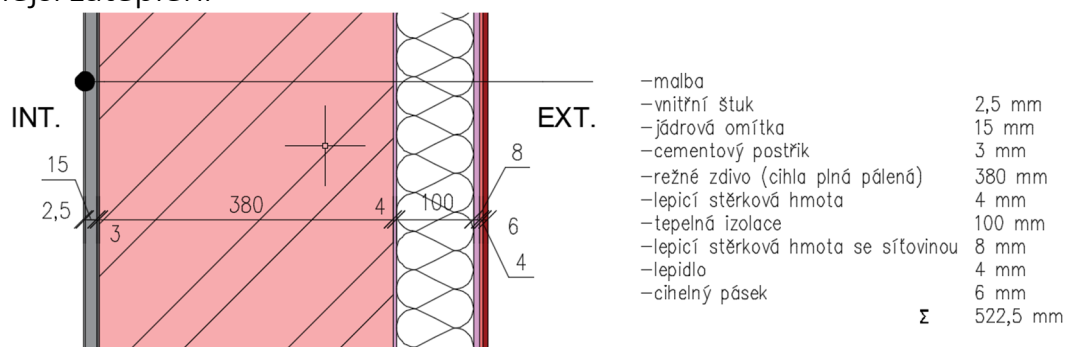
Cihelný obklad na fasádě jako finální vrstva je tvořen keramickým cihelným páskem se spárami. Vlastnosti materiálů nejsou řádově rozdílné, současně plocha cihelného pásku na fasádě dominuje oproti ploše spár. Tato spára je tedy ve výpočtech zanedbána. Vrstva je modelována pouze pomocí jednoho materiálu, a to cihelného v tloušťce pásku.



### 3.1.4. Výsledky a vyhodnocení

#### Detail stěny 1D

#### Vnější zateplení



Obrázek 47 – návrh skladby obvodové konstrukce s vnějším zateplením

Tabulka 33 - tabulka materiálů skladby obvodové konstrukce s vnějším zateplením v navrhovaném stavu

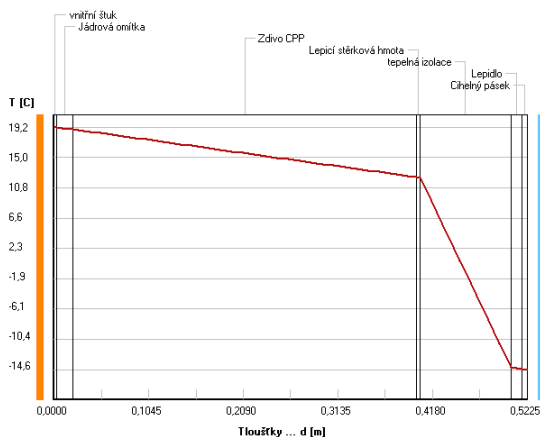
Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní štuk	<i>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	<i>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	<i>Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	2000	0,3	850	1,2	25
Lepící stěrková hmota	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<i>EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m<sup>3</sup>)</i>	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Cihelný pásek	<i>Wienerberger Solid Brick</i>	1744	0,33	889	0,54	15

Řešený objekt je památkově chráněný. Pro vnější zateplení konstrukce jsou stanoveny obecné zásady, které je nutné dodržet. Památková péče stanovuje např. umístění oken od vnějšího líce fasády nebo to, že původní vzhled fasády musí být zachován, a proto se po zateplení musí opatřit keramickým cihelným páskem o určitých rozměrech imitace cihly.

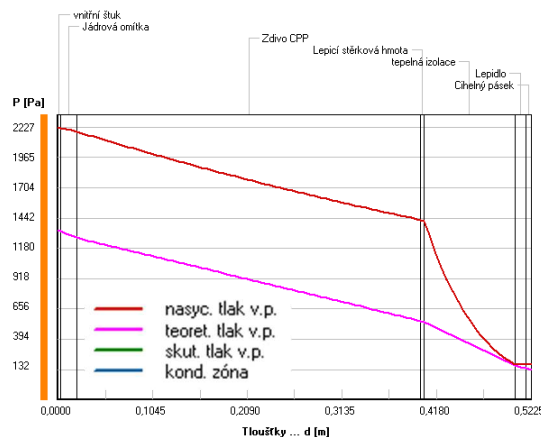
Dodatečné zateplení z vnější stany konstrukce je nejběžnějším typem zateplení u nás. Jedná se o nejjednodušší konstrukční řešení zateplení. Realizace zateplení neomezuje vnitřní provoz a zároveň chrání původní konstrukci proti vnějším vlivům. Tím je ale stávající fasáda zakryta, a tak musí být nahrazena imitací cihly pomocí keramického cihelného pásku.



## Výsledky






Graf 20 - průběh teplot konstrukcí s vnější TI



Graf 21 - průběh částečných tlaků vodní páry s vnější TI

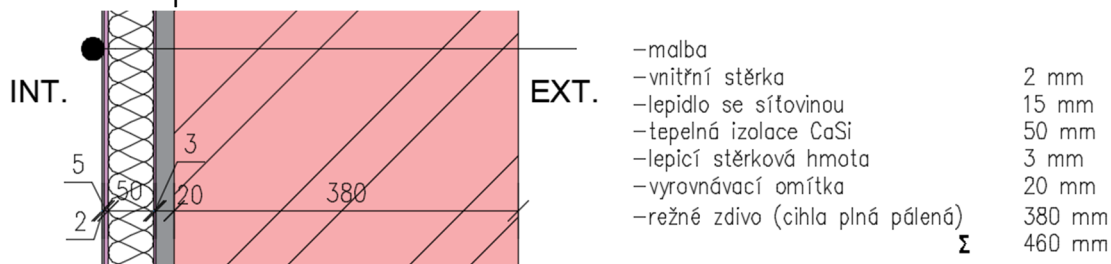
Tabulka 34 – vyhodnocení obvodové konstrukce s vnějším zateplením v navrhovaném stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Součinitel prostupu tepla $U$	0,297 [W/m <sup>2</sup> K]	< 0,3 [W/m <sup>2</sup> K]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	18,1 [°C]	> 8,26 [°C] 	ANO
		> 11,58 [°C] 	ANO
Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$	0 [kg/m <sup>2</sup> *a]	< 0,50 [kg/m <sup>2</sup> *a] 	ANO

Vnější zateplení stěny je vyhovující ve všech ohledech. Tepelná izolace je vybírána tak, aby vyhovovala požadavkům na součinitel prostupu tepla, proto je jasné, že tento požadavek musel být splněn. Teplota na povrchu konstrukce je po zateplení velice vzdálená od kritických teplot. Konstrukce je difúzně otevřená, proto vlhkost prostupující z interiéru nikde nekondenzuje. Vlhkostní procesy na vnějším povrchu konstrukce přebírá zejména cihelný pásek, lepidlo a cementová stěrková hmota. Tyto vrstvy jsou také vystaveny velkým teplotním změnám v průběhu dnů i roku. Je tedy velmi důležité, aby tyto vrstvy byly vyztuženy síťovinou (perlínka).



## Vnitřní zateplení



Obrázek 48 – návrh skladby obvodové konstrukce s vnitřním zateplením

Tabulka 35 - tabulka materiálů obvodové konstrukce s vnitřním zateplením v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní stěrka	<i>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,24	850	0,8	19
Vyrovnávací omítka	<i>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,25	850	0,8	25
Lepidlo	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<i>Calcium Silikates Upraveno dle výrobku Clima Redboard pro</i>	<del>270</del> <b>185</b>	<del>0,9</del> <b>0,93</b>	1162	<del>0,0623</del> <b>0,059</b>	<del>3,8</del> <b>3,0</b>

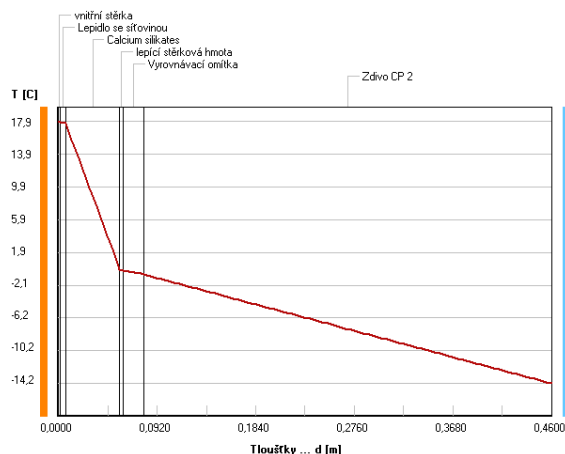
Provedení vnitřního zateplení mnohem jednodušeji udrží autentický vzhled fasády i po provedení přestavby a zateplení. Takto je možné učinit objekt obyvatelný a zároveň lze zachovat historickou hodnotu stavby.

Jako nejvhodnější izolant pro vnitřní zateplení jsou vybrány hygrokopické tepelně izolační desky z kalcium silikátu. Při použití vnitřního zateplení může docházet ke kondenzaci na rozhraní materiálů. Tento materiál disponuje poměrně vysokým koeficientem kapilární absorpce  $A_w$  [kg/m<sup>2</sup>.s<sup>0.5</sup>]. Vlivem kapilární absorpce by v tomto materiálu mělo docházet k transportu zkondenzované vlhkosti a nasycené vodní páry. Jedná se v podstatě o vlastnost materiálu transportovat kapalnou vodu materiálem za jednotku času. Při vzniku kondenzátu uvnitř konstrukce je tedy vlhkost transportována na vnitřní povrch konstrukce, kde následně dochází k odpařování.

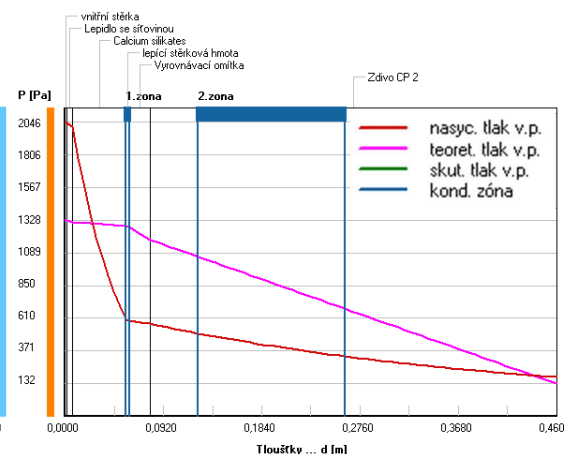
Zmíněná vlastnost vybraného materiálu není uvažována ve výpočtech ve stacionárním výpočtovém modelu. Proto výsledky těchto výpočtů jsou následně ověřeny pomocí dynamického výpočtového modelu.



## Výsledky







Graf 22 - průběh teplot konstrukcí s vnitřní TI



Graf 23 - průběh částečných tlaků vodní páry s vnitřní TI

Tabulka 36 – vyhodnocení obvodové konstrukce s vnitřním zateplením v navrhovaném stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Součinitel prostupu tepla $U$	0,584 [W/m <sup>2</sup> K]	< 0,3 [W/m <sup>2</sup> K]	NE
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	15,7 [°C]	> 8,26 [°C] 	ANO
		> 11,58 [°C] 	ANO
Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$	2,2067 [kg/m <sup>2</sup> *a]	< 0,50 [kg/m <sup>2</sup> *a] 	NE
Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$	7,3251 [kg/m <sup>2</sup> *a]	$M_{c,a} < M_{ev,a}$ 	ANO

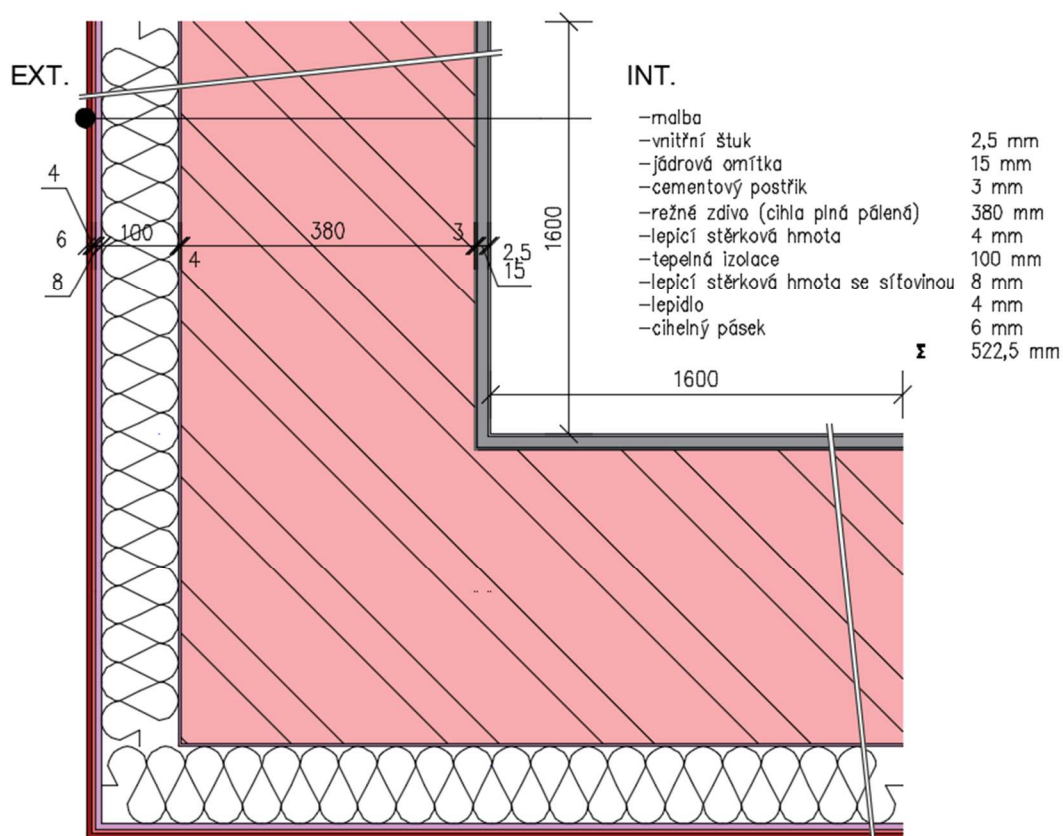
Vnitřní zateplení stěny je nevyhovující, jelikož není splněn požadavek na součinitel prostupu tepla. Konstrukce je sice difúzně otevřená, ale z hlediska kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce je skladba také nevyhovující. Zkondenzovaná vodní pára je během roku sice vypařitelná, avšak množství zkondenzované vodní páry v konstrukci za rok přesahuje maximální požadovanou hodnotu. Teplota na povrchu konstrukce je po zateplení vzdálená od kritických teplot. Jedná se o jediný požadavek, který je při vnitřním zateplení splněn.

Při aplikaci vnitřního zateplení je původní konstrukce oddělená od vytápěné zóny a je vystavena venkovnímu prostředí. Dochází k mnohem většímu prochladnutí původní konstrukce oproti stávajícímu stavu. Tepelně izolační schopnosti původní konstrukce jsou velmi špatné, a proto k prochladnutí dochází. Teplota na rozhraní izolace a původní konstrukce je velmi nízká. Z grafu průběhu teplot je možné vyčíst, že se tato teplota pohybuje kolem 0 °C a dochází zde ke kondenzaci vodních par prostupujících z interiéru.

Výsledky výpočtu jsou dále ověřeny v dynamickém výpočtovém modelu, kde jsou uvažovány vlastnosti redistribuce vlhkosti vybrané tepelné izolace.



## Detail koutu stěny



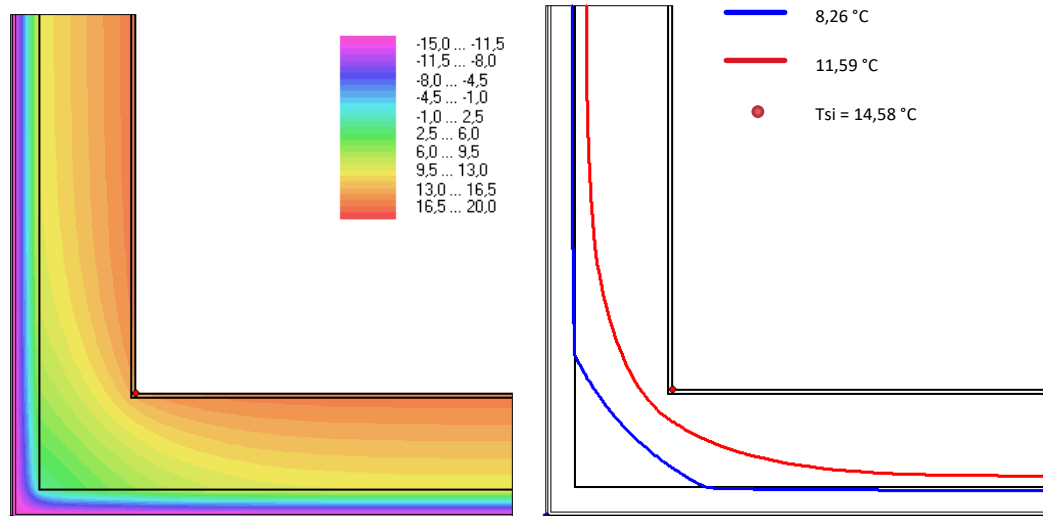
Obrázek 49 - schéma detailu koutu v navrhovaném stavu

Tabulka 37 - tabulka materiálů detailu koutu v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní štuk	<i>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</i>	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	<i>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</i>	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	<i>Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</i>	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<i>EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m<sup>3</sup>)</i>	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4






Výsledky



Obrázek 50 - teplotní pole a izotermy detailu koutu v navrhovaném stavu

Tabulka 38 - vyhodnocení detailu koutu v navrhovaném stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	-0,138 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	14,6 [°C]	> 8,26 [°C] 	ANO
		> 11,58 [°C] 	ANO
Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$	0 [kg/m <sup>2</sup> *a]	< 0,50 [kg/m <sup>2</sup> *a] 	ANO

Vnitřní povrchová teplota sice nedosahuje tak vysokých teplot jako teplota v ploše stěny, stále se ještě nachází poměrně vysoko od kritických teplot. Stejně jako ve stěně zde nedochází ke kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce. Lineární činitel prostupu tepla v tomto detailu je záporný podobně jako ve stávajícím stavu a také je vyhovující. Tento detail s vybraným zateplením je naprosto vyhovující.





## Detail soklu

Stavebně technické řešení detailu soklu je navrženo ve třech variantách. První varianta představuje typický přístup k zateplení fasády, kdy je zateplena pouze obvodová konstrukce a sokl je ponechán v původním stavu. Tento přístup je vyzorován na několika budovách podobného typu při návštěvě Zlína, viz foto níže. Druhá varianta uvažuje se zateplením soklu pouze nad úroveň terénu a je zkoumáno, zda takové zateplení postačí. Třetí varianta uvažuje s kompletním zateplením soklu i pod úroveň terénu.

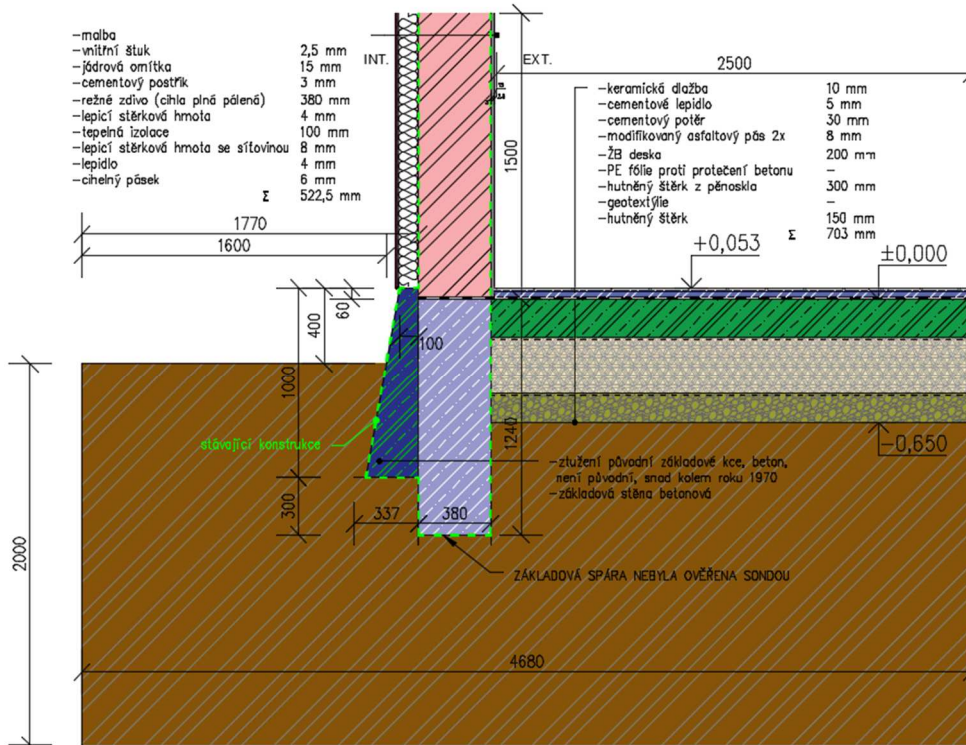


Obrázek 51 - foto částečně zatepleného Baťovského domku ve Zlíně z osobní prohlídky dne 23.6.2020



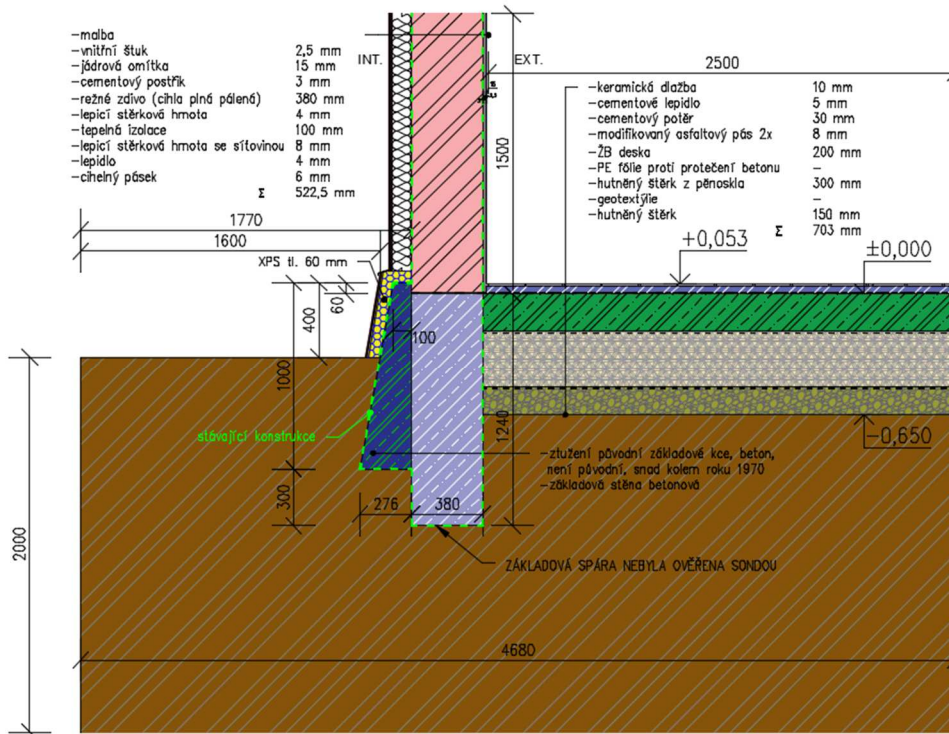


Varianta A



Obrázek 52 – schéma detailu soklu - varianta zateplení A

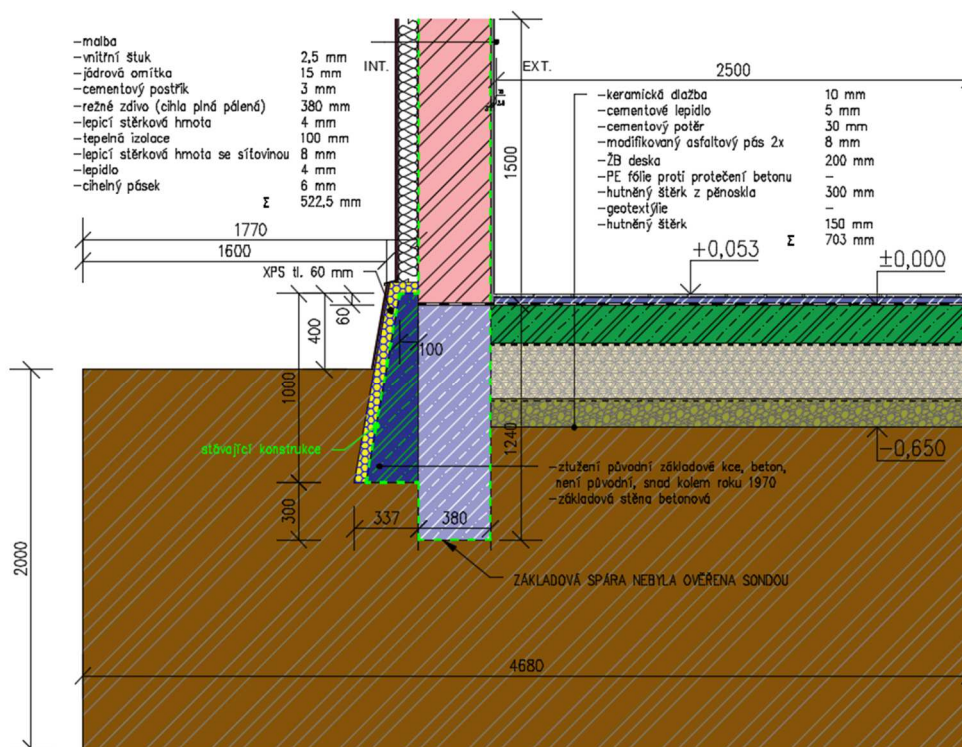
Varianta B



Obrázek 53 – schéma detailu soklu - varianta zateplení B



Varianta C



Obrázek 54 – schéma detailu soklu - varianta zateplení C

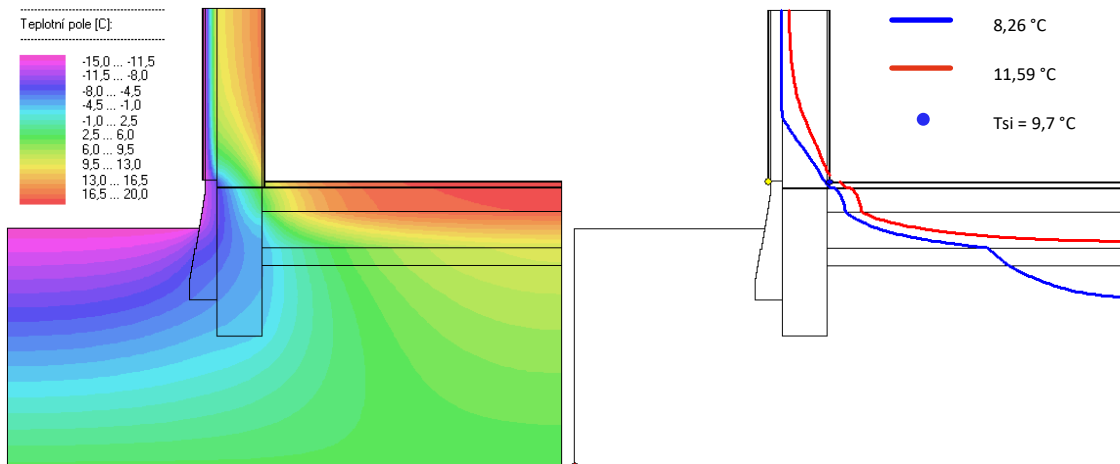
Tabulka 39 - tabulka materiálů detailu soklu v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	Solid Brick, historical	1800	0,31	850	0,6	15
Zemina	Sandy Loam	1550	0,4	850	0,454	50
Prostý beton původní	Concrete C12/15	2200	0,18	850	1,6	92
Prostý beton (ztužení původní konstrukce)	Concrete w/c 0,5	2308	0,16	850	1,7	179
Vnitřní štuk	Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota	Knauf TecTem® Adhesive Mortar	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace EPS	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	Knauf TecTem® Adhesive Mortar	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Cihelný pásek	Wienerberger Solid Brick	1744	0,33	889	0,54	15
XPS	XPS Surface Skin (heat cond.: 0,03 W/mK)	40	0,95	1500	0,03	100
Keramická dlažba	Wienerberger Solid Brick <i>upraveno</i>	<del>1744</del> <b>2000</b>	0,33	<del>889</del> <b>840</b>	<del>0,54</del> <b>1,01</b>	15
Cementové lepidlo	Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	2000	0,3	850	1,2	25
Cementový potěr	Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	2000	0,3	850	1,2	25
Modifikovaný asfaltový pás	Asphalt Shingle Systém <i>upraveno</i>	1500	0,001	1500	0,2	<del>2730</del> <b>27300</b>
ŽB deska	Concrete, C35/45	2220	0,18	850	1,6	248
Hutněný štěr z pěnokla	Fiber Glass	30	0,99	840	0,08	1,3
Hutněný štěr	generic gravel	1400	0,3	1000	0,7	1



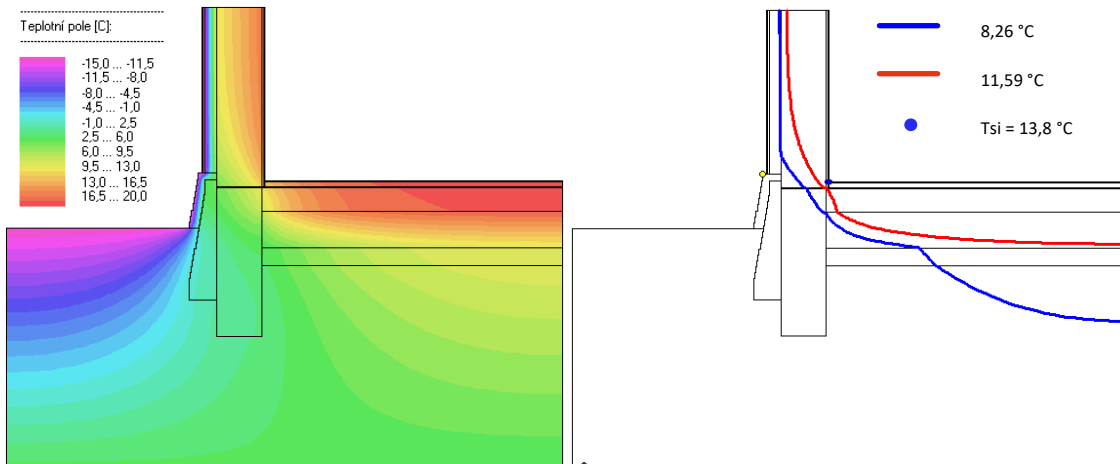
## Výsledky

### Varianta A



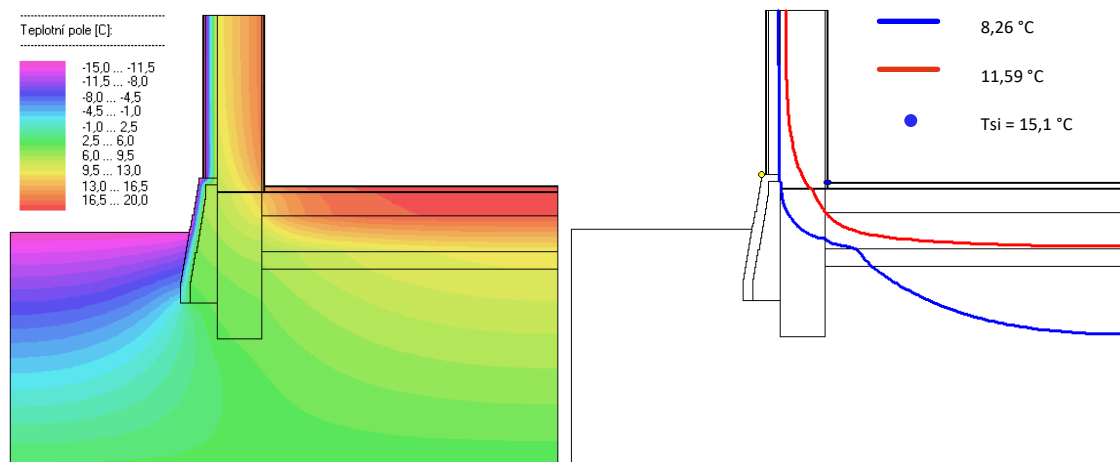
Obrázek 55 - teplotní pole a izotermy navrhovaného zateplení soklu varianta A

### Varianta B



Obrázek 56 - teplotní pole a izotermy navrhovaného zateplení soklu varianta B

### Varianta C



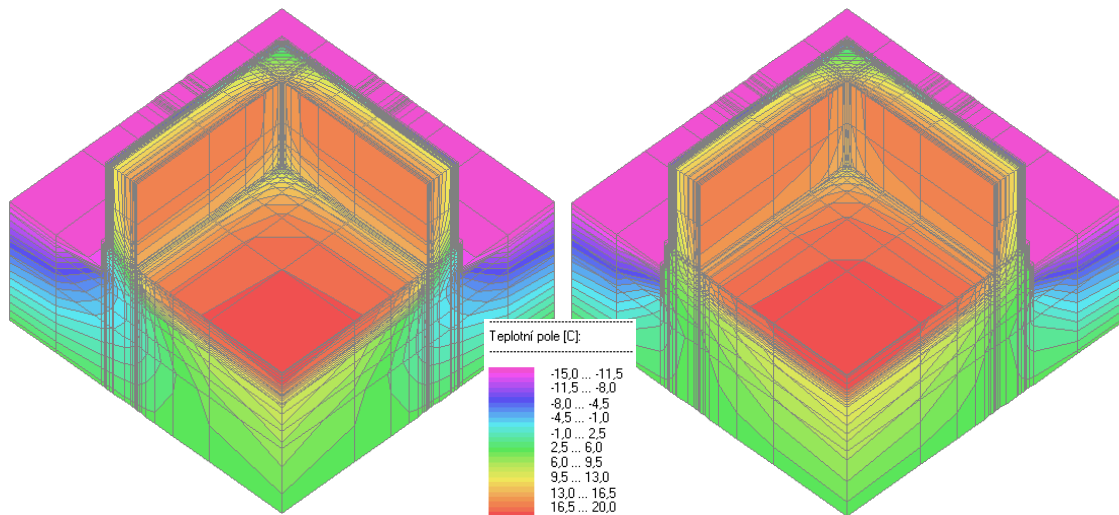
Obrázek 57 - teplotní pole a izotermy navrhovaného zateplení soklu varianta C



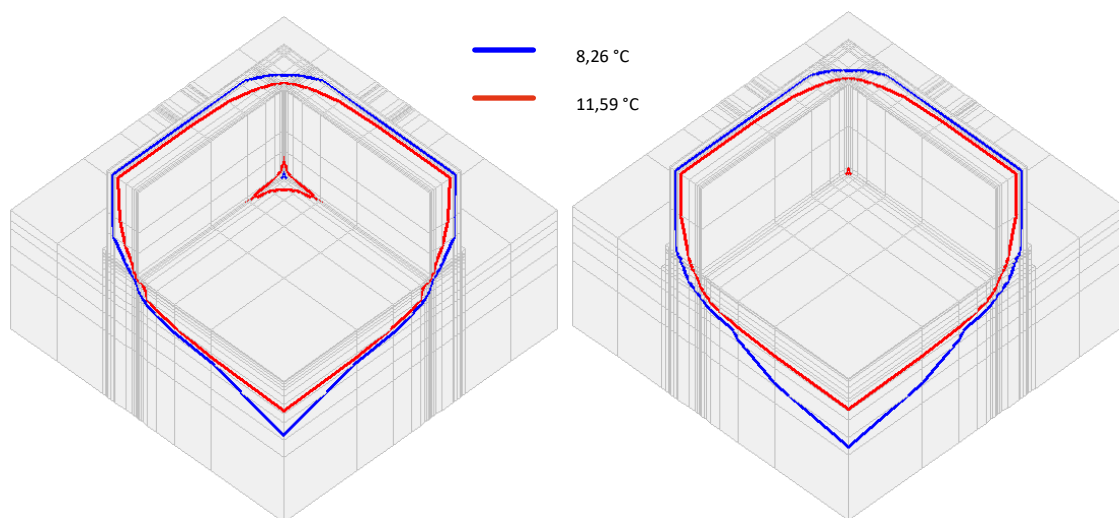
Po provedení výpočtů ve 2D výpočtovém modelu je rozhodnuto, že pro výběr vhodného řešení detailu je nutné prozkoumat navrhovaná řešení i ve styku v koutě. Je tedy proveden výpočet ve 3D výpočtovém modelu pro varianty B a C, které se ve 2D modelu jeví jako vyhovující. Je zjišťováno, zda varianty zateplení jsou ve 3D výpočtovém modelu vyhovující stejně jako ve 2D výpočtovém modelu.

Varianta B

Varianta C



Obrázek 58 - teplotní pole zatepleného soklu 3D ve variantách













Obrázek 59 - izotermy zatepleného soklu 3D ve variantách





Tabulka 40 - vyhodnocení detailu soklu v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	A	0,041 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
	B	-0,126[W/mK]		ANO
	C	-0,156 [W/mK]		ANO
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	2D	A	> 8,26 [°C]	 ANO
			> 11,58 [°C]	 NE
		B	> 8,26 [°C]	 ANO
			> 11,58 [°C]	 ANO
	C	> 8,26 [°C]	 ANO	
		> 11,58 [°C]	 ANO	
	3D	B	> 8,26 [°C]	 NE
			> 11,58 [°C]	 NE
		C	> 8,26 [°C]	 ANO
			> 11,58 [°C]	 NE

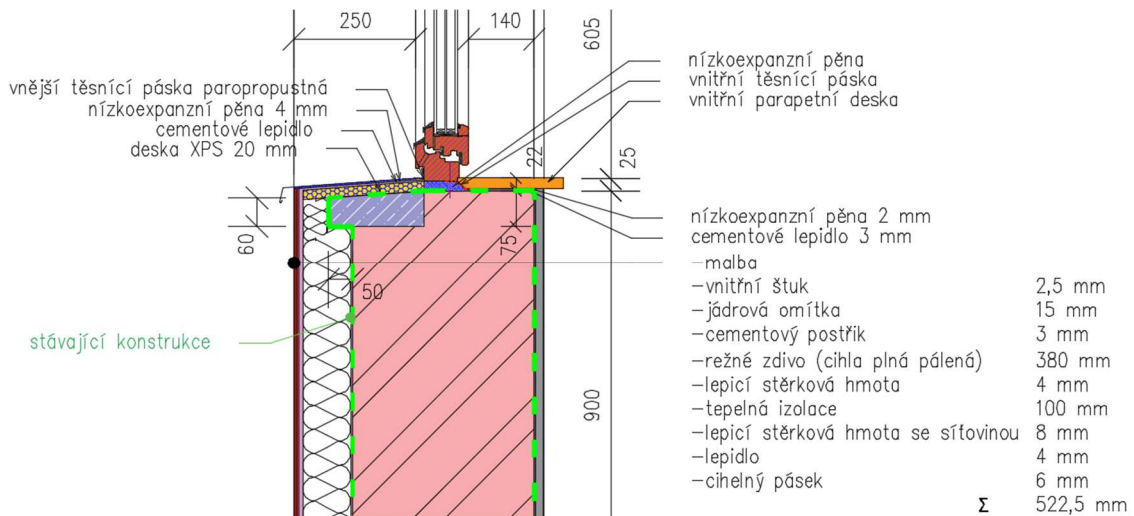
Varianta A, kdy je zateplena pouze obvodová konstrukce a sokl je ponechán v původním stavu, je dle výpočtů v ustáleném stavu nevyhovující. Tento přístup k zateplení obvodového pláště je rozhodně nevhodný. Nejnižší vnitřní povrchová teplota při absenci zateplení soklu se oproti stávajícímu stavu zvýší jen nepatrně. Tato teplota nepřekročí požadovanou teplotu, která by měla zabránit riziku tvorby plísní na vnitřním povrchu.

Varianty řešení detailu B a C jsou ve stávajícím stavu vyhovující. Přičemž vnitřní povrchová teplota ve variantě zateplení B nedosahuje tak vysokých hodnot jako ve variantě C. Obě tyto varianty zateplení jsou prozkoumány i ve 3D výpočtovém modelu. Z obrázku izoterm zatepleného soklu ve 3D je možné vyvodit, že varianta zateplení B je nevyhovující z důvodu kondenzace vodních par na vnitřním povrchu v koutě. Dále je možné vyvodit, že ani varianta C není vyhovující z důvodu poklesu vnitřní povrchové teploty pod požadovanou teplotu proti vzniku rizika tvorby plísní. Plocha, na které je varianta zateplení C nevyhovující, je velmi malá. Model v ustáleném stavu neuvažuje se setrvačností zeminy. Je tedy velmi pravděpodobné, že detail ve variantě C při posouzení v dynamickém výpočtovém modelu je vyhovující a k poklesu teploty pod požadovanou teplotu nedochází.



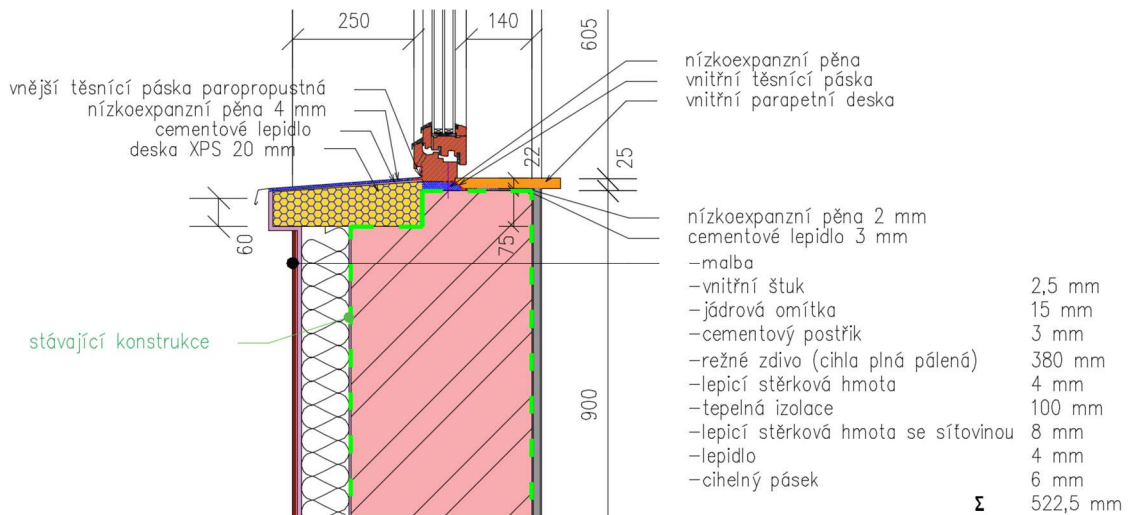
## Detail parapetu

### Varianta A



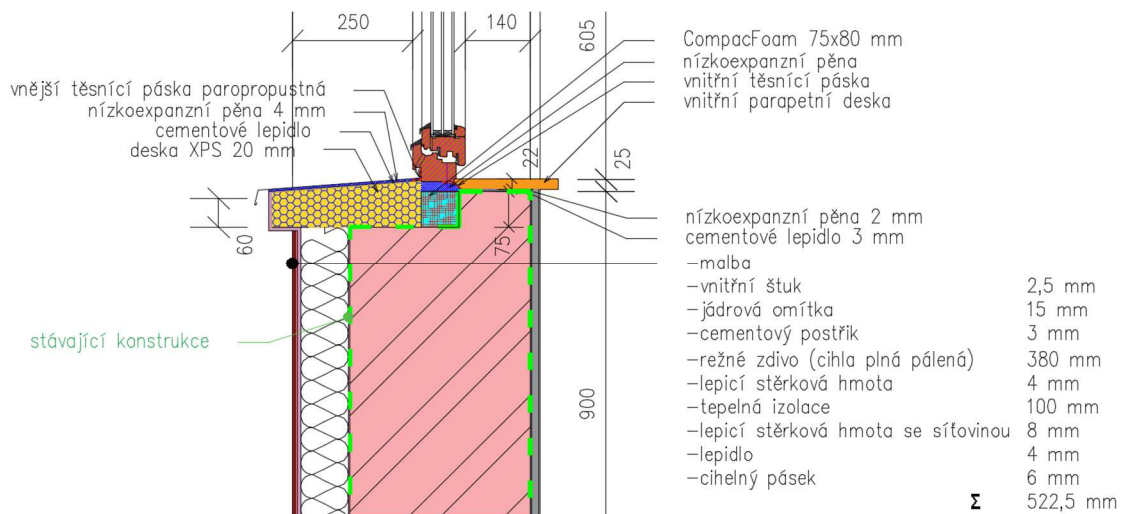
Obrázek 60 - schéma detailu parapetu - varianta A

### Varianta B



Obrázek 61 - schéma detailu parapetu - varianta B

### Varianta C



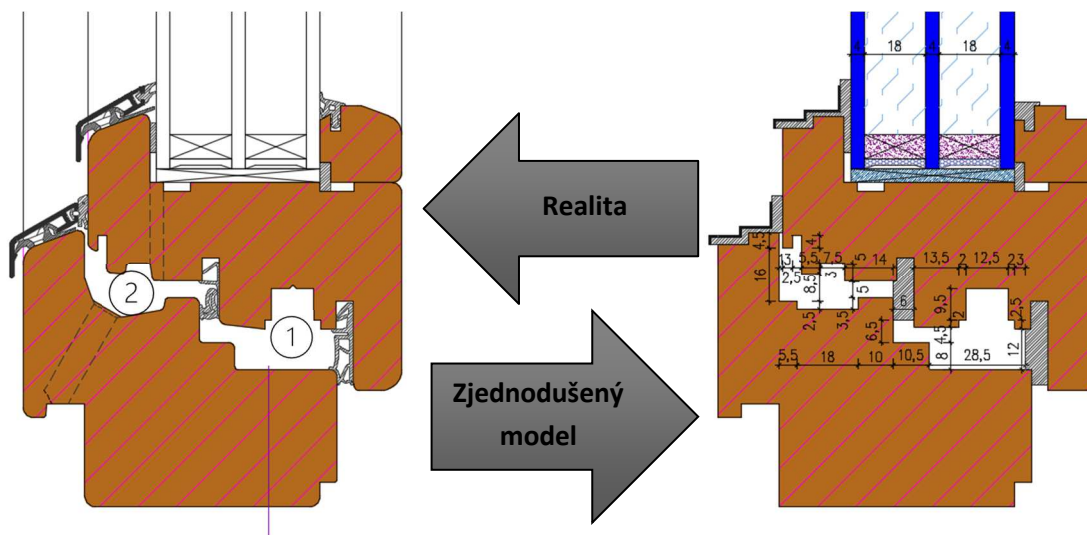
Obrázek 62 - schéma detailu parapetu - varianta C





### Detail spodního okenního rámu

Z důvodu zachování materiálů původních oken a pro vymodelování přesné geometrie okenních rámuů je zvoleno dřevěné okno od firmy Slavona. Výrobce je poskytnuta přehledná dokumentace obsahující přesnou geometrii všech okenních prvků a jejich materiálové řešení. Pro stanovení lineárního činitele prostupu tepla skrz detaily oken je hodnota součinitele prostupu tepla oknem použita dle specifikací udávaných výrobcem. [17]



Obrázek 63 - model pro výpočet součinitele tepelné vodivosti vzduchových dutin v okenním rámu

Detaily oken jsou modelovány velice podrobně z důvodu získání co nejpřesnějších výsledků. Tedy je nutné také stanovit co nejreálnější součinitel tepelné vodivosti každé větší dutiny. Ten je stanoven pomocným výpočtem, který je možno nalézt v příloze č. 3.

Výpočet detailů okenních otvorů je proveden ve dvou variantách zvolených okrajových podmínek. Odpor na přestupu tepla na vnitřním povrchu pro stanovení nejnižší vnitřní povrchové teploty je normou ČSN 730540-3 stanoven dvěma hodnotami,  $R_{si}=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$  pro konstrukce a  $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  pro výplně otvorů. Tyto okrajové podmínky platí pro první variantu. Druhá varianta okrajových podmínek je simulována pomocí jednotné hodnoty odporu na přestupu tepla na vnitřním povrchu a to  $R_{si}=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$  pro konstrukci i pro výplně otvorů.



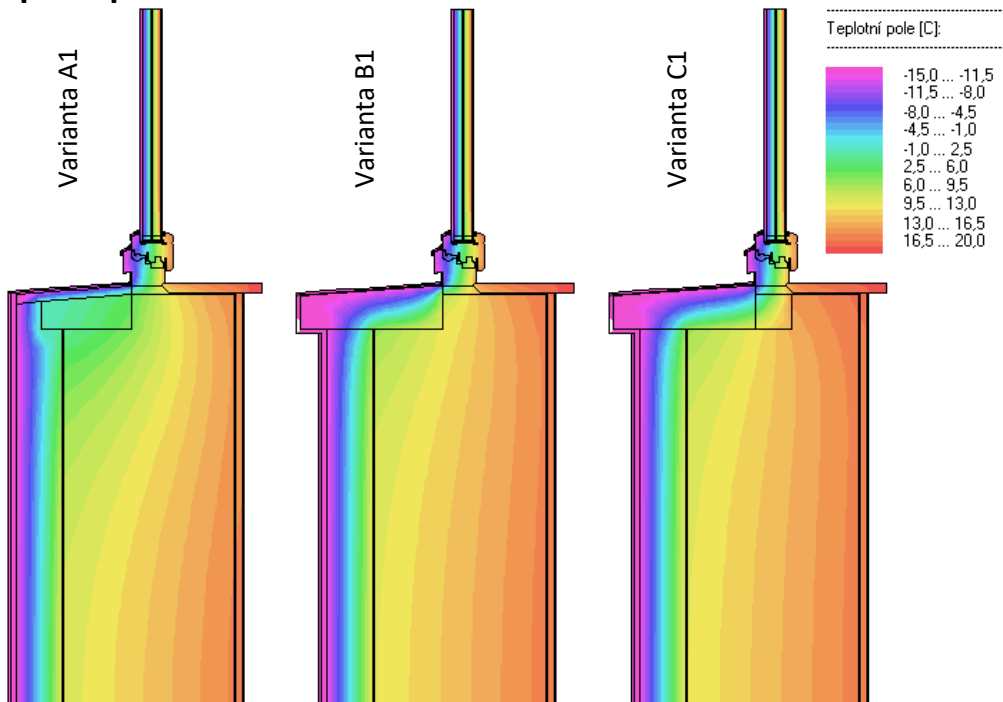
Tabulka 41 - tabulka materiálů detailu parapetu v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Prostý beton původní	<i>Concrete C12/15</i>	2200	0,18	850	1,6	92
Vnitřní štuk	<i>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	<i>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	<i>Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<i>EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m<sup>3</sup>)</i>	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Okenní rám – dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> <b>2510</b>	0,13	108
Sklo	<i>PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m) upraveno</i>	<del>130</del> <b>2600</b>	0,001	<del>2200</del> <b>840</b>	<del>1,65</del> <b>0,76</b>	<del>87000</del> <b>1000000</b>
Argon	<i>Air Layer 20 mm; without additional moisture capacity</i>	1,3	0,999	1000	<del>0,13</del> <b>0,02</b>	0,56
Distanční rámeček	<i>Polypropylen</i>	910	-	1470	0,16	50000
Těsnění dutiny	<i>Polypropylen</i>	910	-	1470	0,16	50000
Těsnění zasklení	<i>Těsnění ze silikonu</i>	1200	-	100	0,35	5000
Těsnění rámu	<i>Těsnění z EPDM</i>	1150	-	1000	0,25	6000
Křídlová okapnice	<i>Ocel korozivzdorná</i>	7900	-	460	17	1000000
Vzduchová dutina 1	<i>Dutina blíže interiéru</i>	1,2	-	1010	0,188	0,4
Vzduchová dutina 2	<i>Dutina blíže exteriéru</i>	1,2	-	1010	0,305	0,2
Cihelný pásek	<i>Wienerberger Solid Brick</i>	1744	0,33	889	0,54	15
Malé vzduchové dutiny	<i>Uzavřená vzduch. dutina tl. 5 mm</i>	1,2	-	1010	0,045	2
PUR pěna	<i>Polyuretanová pěna</i>	70	-	2300	0,05	60
XPS	<i>Synthos XPS 30</i>	40	-	1270	0,038	100
Vnější těsnící pásek	<i>pro clima SOLITEX PLUS sd = 0,075 m</i>	310	-	1500	0,17	145
Vnitřní těsnící pásek	<i>pro clima INTELLO sd = 25 m</i>	425	-	1500	0,17	50000
CompacFoam		100	-	1270	0,0387	25



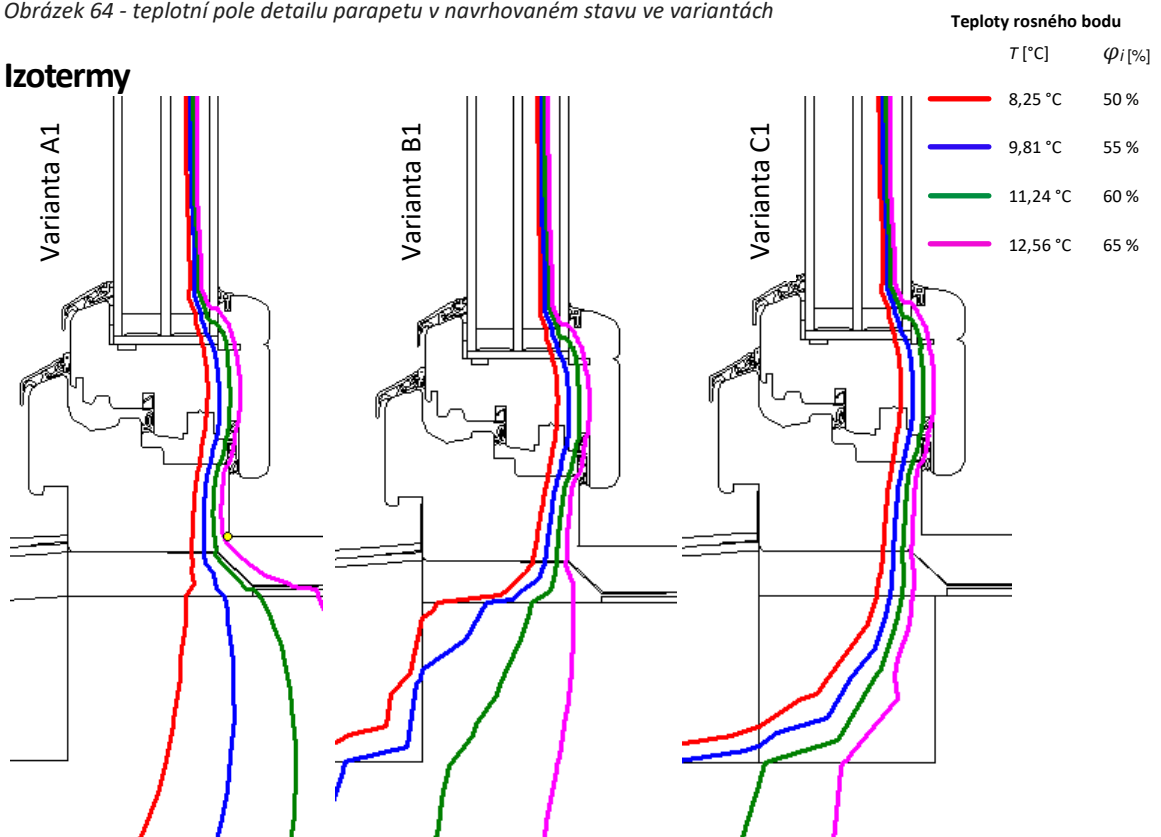
Výsledky

**Teplotní pole**



Obrázek 64 - teplotní pole detailu parapetu v navrhovaném stavu ve variantách

**Izotermy**



Obrázek 65 – izotermy detailu parapetu v navrhovaném stavu ve variantách



Tabulka 42 - vyhodnocení detailu parapetu v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE	
Lineární činitel prostupe tepla $\psi_e$	A	0,149 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	<b>NE</b>	
	B	0,051 [W/mK]		<b>ANO</b>	
	C	0,024 [W/mK]		<b>ANO</b>	
Nejnižší vnitřní povrchová teplota na výplni otvoru $T_{si,p}$	A1	13,1 [°C]	Teplota rosného bodu pro $\varphi_i = 50\%$ ( $\varphi_{i,r} = 45\%$ ) $T_{ai} = 20,6\text{ °C}$	<b>ANO</b>	
	A2	10,6 [°C]		<b>ANO</b>	
	B1	13,8 [°C]		<b>ANO</b>	
	B2	11,0 [°C]		<b>ANO</b>	
	C1	13,5 [°C]		> 8,26 [°C]	<b>ANO</b>
	C2	10,6 [°C]		<b>ANO</b>	
Nejnižší vnitřní povrchová teplota na stavební konstrukci $T_{si,p}$	A1	13,1 [°C]	Riziko růstu plísní pro $\varphi_i = 50\%$ ( $\varphi_{i,r} = 45\%$ ) $T_{ai} = 20,6\text{ °C}$	<b>ANO</b>	
	A2	11,4 [°C]		<b>NE</b>	
	B1	13,8 [°C]		<b>ANO</b>	
	B2	12,6 [°C]		<b>ANO</b>	
	C1	13,5 [°C]		> 11,59 [°C]	<b>ANO</b>
	C2	12,3 [°C]		<b>ANO</b>	
Varianta výpočtů s indexem: 1 – $R_{si,okno} = 0,13$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{si,kce} = 0,25$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{se} = 0,04$ [m <sup>2</sup> K/W] 2 – $R_{si,okno} = 0,25$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{si,kce} = 0,25$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{se} = 0,04$ [m <sup>2</sup> K/W]					

Tabulka 43 - vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu parapetu v navrhovaném stavu podle teplot rosného bodu pro vyšší relativní vlhkosti

VAR.	VÝSLEDKY	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.
A1	13,1 [°C]	$\varphi_i = 55\%$ ( $\varphi_{i,r} = 50\%$ ) > 9,81 [°C]	<b>ANO</b>	$\varphi_i = 60\%$ ( $\varphi_{i,r} = 55\%$ ) > 11,24 [°C]	<b>ANO</b>	$\varphi_i = 65\%$ ( $\varphi_{i,r} = 60\%$ ) > 12,56 [°C]	<b>ANO</b>	$\varphi_i = 70\%$ ( $\varphi_{i,r} = 65\%$ ) > 13,79 [°C]	<b>NE</b>
A2	10,6 [°C]		<b>ANO</b>		<b>NE</b>		<b>NE</b>		
B1	13,8 [°C]		<b>ANO</b>		<b>ANO</b>		<b>ANO</b>		
B2	11,0 [°C]		<b>ANO</b>		<b>NE</b>		<b>NE</b>		
C1	13,5 [°C]		<b>ANO</b>		<b>ANO</b>		<b>ANO</b>		
C2	10,6 [°C]		<b>ANO</b>		<b>NE</b>		<b>NE</b>		

Z výsledku můžeme vidět, že podle normy je varianta A nevyhovující z hlediska lineárního činitele prostupu tepla a varianty B – C jsou vyhovující. Výsledky A2 – C2, kde byl zvýšen odpor na přestupu tepla u okna z  $R_{si}=0,13$  m<sup>2</sup>K/W na hodnotu  $R_{si}=0,25$  m<sup>2</sup>K/W jsou výrazně studenější, ale pouze varianta A2 není vyhovující z hlediska tvorby plísní na vnitřním povrchu. Všechny varianty návrhu jsou zároveň hodnoceny z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty výplně okenních otvorů. Pro výplně otvorů či kovové konstrukce se připouští povrchová relativní vlhkost  $\varphi_i=100\%$  dle normy ČSN 730540-2.



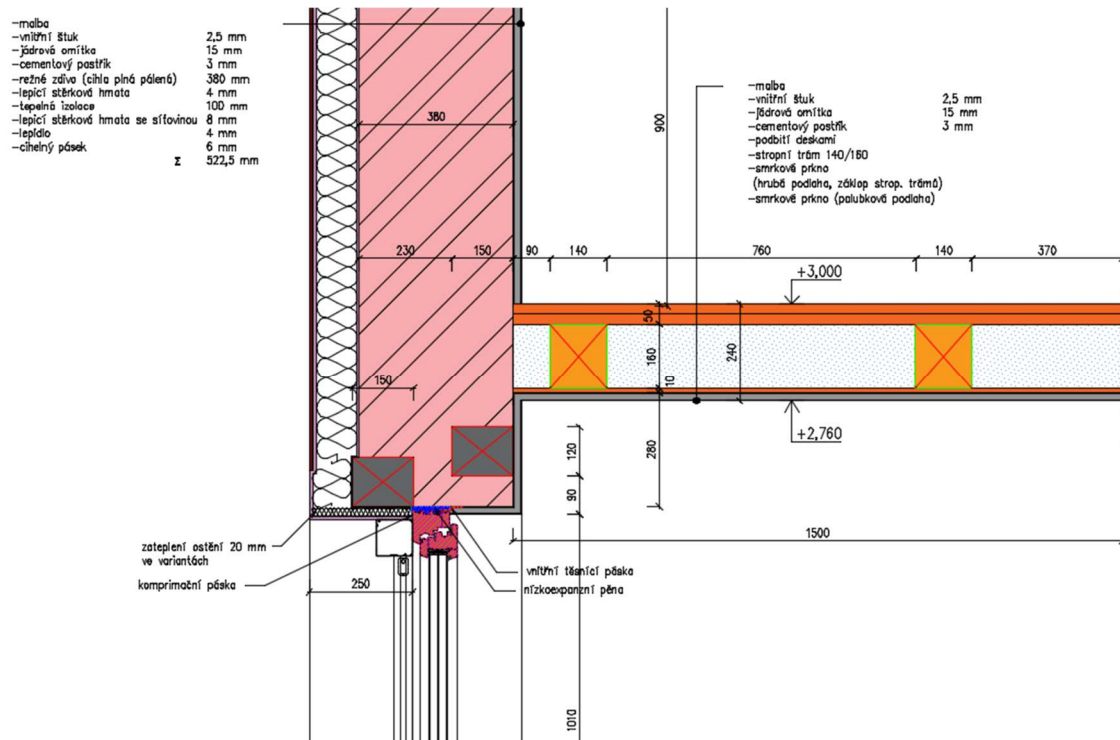
Z výsledků je též patrné, že nejvhodnější variantou zateplení je varianta B. V této variantě došlo k nahrazení parapetního betonu tepelnou izolací z expandovaného polystyrénu (XPS). Tepelná izolace zároveň imituje původní vzhled venkovní konstrukce. Varianta C oproti variantě B je s přidaným blokem tepelné izolace (CompacFoam) pod konstrukcí okna. Zřejmě se nejedná o vhodnou úpravu, jelikož teplota na vnitřním povrchu poklesla oproti variantě B.

Kondenzace na vnitřním povrchu konstrukcí je velice závislá na vnitřním provozu. Proto izotermy v detailu parapetu i dalších detailech oken jsou provedeny pro více variant relativních vlhkostí vnitřního prostředí. Tímto krokem je ověřováno, pro jak vysoké relativní vlhkosti vnitřního prostředí je vyhovující výplň okenního otvoru ve variantách řešení detailu.

V případě detailu parapetu by ke kondenzaci na vnitřním povrchu výplně okenního otvoru mohlo docházet již při zvýšení relativní vlhkosti vnitřního prostředí nad 55 %, a to pro všechny varianty řešení detailu se zvýšeným odporem na přestupu tepla. Při výpočtech s běžným odporem na přestupu tepla by ke kondenzaci mělo docházet při zvýšení relativní vlhkosti nad 65 %, a to ve variantách A1 a C1. Ve variantě řešení detailu B1 by ke kondenzaci na vnitřním povrchu výplně okenního otvoru nemělo docházet ani při zvýšení na 70 %.



## Detail nadpraží



Obrázek 66 – schéma detailu zateplení nadpraží

Památková péče stanovila obecné zásady, které určují, co všechno je nutné při rekonstrukci jednotlivých typů domků dodržet. Zateplení ostění otvorů je povoleno o max. tloušťce 20 mm. Z toho důvodu je ostění zatepleno touto tloušťkou. Je možné tedy měnit pouze materiál tepelné izolace.

Materiálové varianty zateplení:

- A. EPS
- B. PUR desky
- C. Aerogel

Ohledně pořízení žaluziového kastlíku nebo jeho umístění není v obecných předpisech zmíněno. Jelikož po zateplení budovy může docházet k přehřívání vnitřního prostředí je navrženo stínění. V případě zateplení izolací o tl. 100 mm nelze kastlík pro stínění integrovat pod omítku. Proto je v tomto případě navrženo stínění s nejméně viditelným kastlíkem pro montáž na rám okna. Jedná se o stínění pomocí látkové clony s krycím boxem o rozměrech 89 x 89 mm a viditelnými lištami.



Tabulka 44 - tabulka materiálů detailu nadpraží v navrhovaném stavu

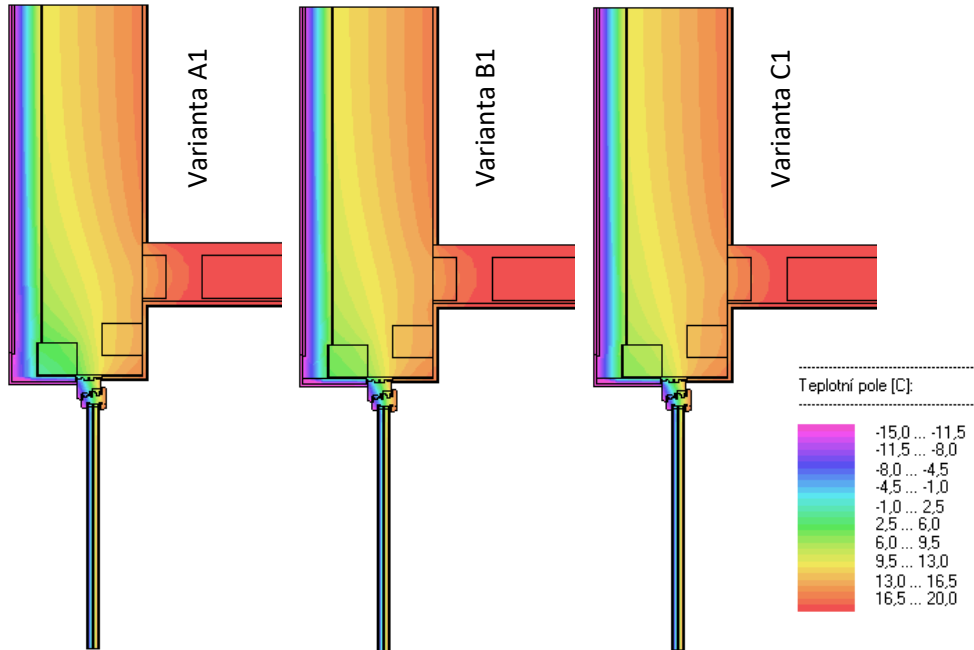
Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní štuk	<i>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</i>	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	<i>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</i>	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	<i>Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</i>	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<i>EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m<sup>3</sup>)</i>	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Okenní rám – dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> <b>2510</b>	0,13	108
Sklo	<i>PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m) upraveno</i>	<del>130</del> <b>2600</b>	0,001	<del>2200</del> <b>840</b>	<del>1,65</del> <b>0,76</b>	<del>87000</del> <b>1000000</b>
Vzduchová dutina ve stropě	<i>Air Layer 150 mm</i>	1,3	0,999	1000	0,94	0,07
ŽB překlad	<i>Concrete w/c 0,4</i>	2322	0,15	850	1,7	192
Argon	<i>Air Layer 20 mm; without additional moisture capacity</i>	1,3	0,999	1000	<del>0,13</del> <b>0,02</b>	0,56
Distanční rámeček	<i>Polypropylen</i>	910	-	1470	0,16	50000
Těsnění dutiny	<i>Polypropylen</i>	910	-	1470	0,16	50000
Těsnění zasklení	<i>Těsnění ze silikonu</i>	1200	-	100	0,35	5000
Těsnění rámu	<i>Těsnění z EPDM</i>	1150	-	1000	0,25	6000
Vzduchová dutina 1	<i>Dutina blíže interiéru</i>	1,2	-	1010	0,188	0,4
Vzduchová dutina 2	<i>Dutina blíže exteriéru</i>	1,2	-	1010	0,305	0,2
Cihelný pásek	<i>Wienerberger Solid Brick</i>	1744	0,33	889	0,54	15
Malé vzduchové dutiny	<i>Uzavřená vzduch. dutina tl. 5 mm</i>	1,2	-	1010	0,045	2
PUR pěna	<i>Polyuretanová pěna</i>	70	-	2300	0,05	60
Vnější komprimační páska	<i>pro clima SOLITEX PLUS sd = 0,075 m</i>	310	-	1500	0,17	145
Vnitřní těsnící pásek	<i>pro clima INTELLO sd = 25 m</i>	425	-	1500	0,17	50000
PUR desky	<i>TPD PUR 30/40 new therm system</i>	34,7	-	1500	0,022	20
Aerogel		150	> 95	1000	0,015	5





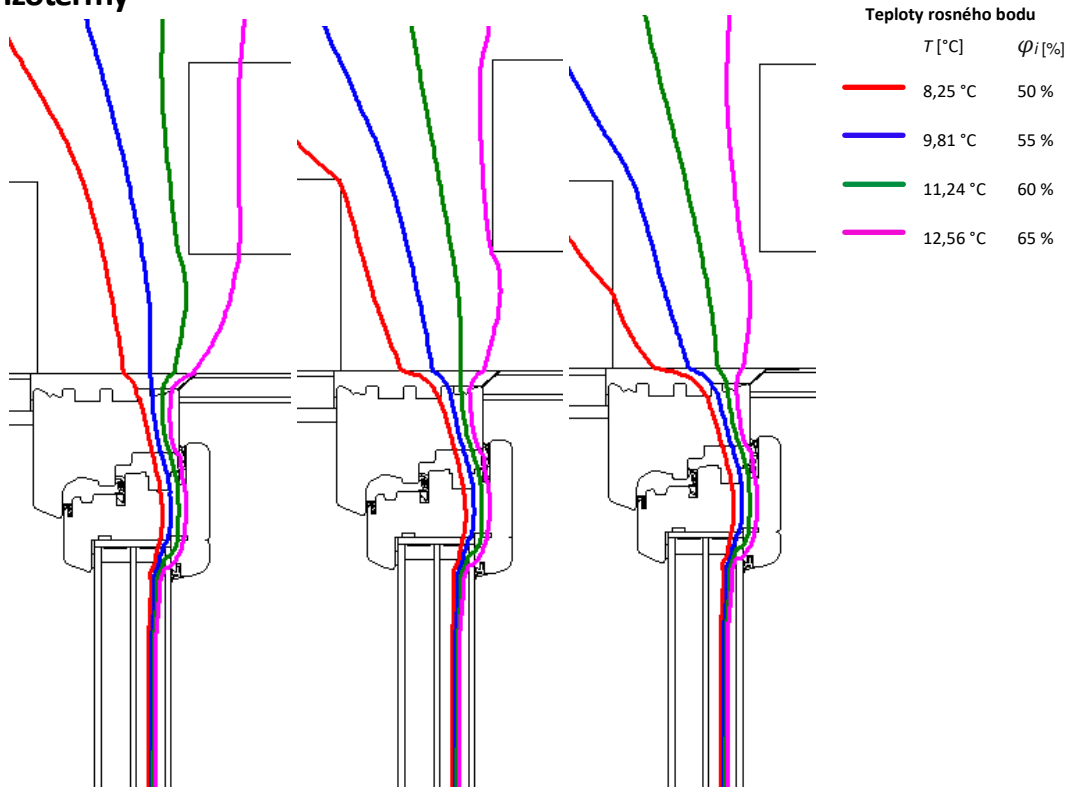
Výsledky

**Teplovní pole**



Obrázek 67 - teplovní pole detailu nadpraží v navrhovaném stavu ve variantách

**Izotermy**



Obrázek 68 - izotermy detailu nadpraží v navrhovaném stavu ve variantách



Tabulka 45 - vyhodnocení detailu parapetu v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární číselník prostupu tepla $\psi_e$	A	0,082 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	ANO
	B	0,036 [W/mK]		ANO
	C	0,013 [W/mK]		ANO
Nejnižší vnitřní povrchová teplota na výplni otvoru $T_{si,p}$	A1	13,7 [°C]	Teplota rosného bodu pro $\varphi_i = 50\%$ ( $\varphi_{i,r} = 45\%$ ) $T_{ai} = 20,6\text{ °C}$  > 8,26 [°C]	ANO
	A2	11,4 [°C]		ANO
	B1	14,1 [°C]		ANO
	B2	11,6 [°C]		ANO
	C1	14,1 [°C]		ANO
	C2	11,7 [°C]		ANO
Nejnižší vnitřní povrchová teplota na stavební konstrukci $T_{si,p}$	A1	13,7 [°C]	Riziko růstu plísní pro $\varphi_i = 50\%$ ( $\varphi_{i,r} = 45\%$ ) $T_{ai} = 20,6\text{ °C}$  > 11,59 [°C]	ANO
	A2	12,9 [°C]		ANO
	B1	14,1 [°C]		ANO
	B2	13,6 [°C]		ANO
	C1	14,1 [°C]		ANO
	C2	13,9 [°C]		ANO
Varianta výpočtů s indexem: 1 – $R_{si,okno} = 0,13$ [m²K/W], $R_{si,kce} = 0,25$ [m²K/W], $R_{se} = 0,04$ [m²K/W] 2 – $R_{si,okno} = 0,25$ [m²K/W], $R_{si,kce} = 0,25$ [m²K/W], $R_{se} = 0,04$ [m²K/W]				

Tabulka 46 - vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty na výplni otvoru detailu nadpraží v navrhovaném stavu podle teplot rosného bodu pro vyšší relativní vlhkosti

VAR.	VÝSLEDKY	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.
A1	13,7 [°C]	$\varphi_i = 55\%$ ( $\varphi_{i,r} = 50\%$ ) > 9,81 [°C]	ANO	$\varphi_i = 60\%$ ( $\varphi_{i,r} = 55\%$ ) > 11,24 [°C]	ANO	$\varphi_i = 65\%$ ( $\varphi_{i,r} = 60\%$ ) > 12,56 [°C]	ANO	$\varphi_i = 70\%$ ( $\varphi_{i,r} = 65\%$ ) > 13,79 [°C]	NE
A2	11,4 [°C]		ANO		ANO		NE		NE
B1	14,1 [°C]		ANO		ANO		ANO		ANO
B2	11,6 [°C]		ANO		ANO		NE		NE
C1	14,1 [°C]		ANO		ANO		ANO		ANO
C2	11,7 [°C]		ANO		ANO		NE		NE

Z výsledku můžeme vidět, že výpočty podle normy A1 – C1 jsou vyhovující. Výsledky A2 - C2, kde byl zvýšen odpor na přestupu tepla u okna z  $R_{si} = 0,13$  m²K/W na hodnotu  $R_{si} = 0,25$  m²K/W jsou opět výrazně studenější. Povrchové teploty jsou vyhovující i při zvýšeném odporu na přestupu tepla.

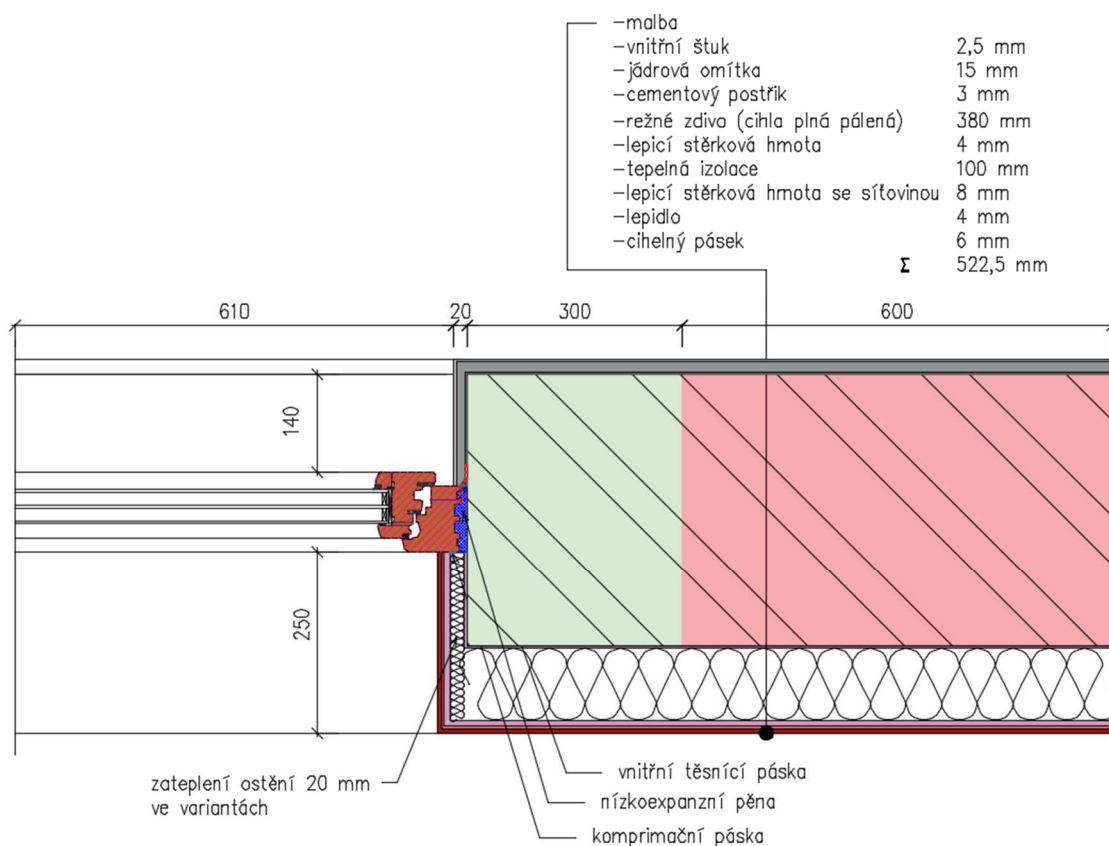


Všechny varianty návrhu jsou zároveň hodnoceny z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty výplně okenních otvorů. Pro výplně otvorů či kovové konstrukce se připouští povrchová relativní vlhkost  $\varphi_i = 100$  % dle normy ČSN 730540-2. Kondenzace na vnitřním povrchu výplně okenního otvoru je velmi závislá na vnitřním provozu. Proto izotermy v detailu jsou provedeny pro více variant relativních vlhkostí vnitřního prostředí. Tímto krokem je ověřováno, pro jak vysoké relativní vlhkosti vnitřního prostředí je vyhovující výplň okenního otvoru ve variantách řešení detailu.

V případě detailu nadpraží by ke kondenzaci na vnitřním povrchu okenního otvoru mohlo docházet již při zvýšení relativní vlhkosti nad 60 %, a to ve všech variantách se zvýšeným odporem na přestupu tepla u výplně otvorů. Pro varianty B1 a C1 je kritická hodnota relativní vlhkosti vyšší. V těchto variantách zateplení detailu by nemělo ke kondenzaci na výplni okenního otvoru docházet ani při dosažení 70 % relativní vlhkosti vnitřního prostředí. Ve variantě A1 by ke kondenzaci na vnitřním povrchu okenního otvoru mohlo docházet po překročení 65 % relativní vlhkosti vnitřního prostředí. Toto platí při zachování stejné teploty vnitřního prostředí, tedy 20 °C.



## Detail ostění



Obrázek 69 – schéma detailu zateplení ostění

Tento detail obsahuje stejný okenní rám, který je použit v detailu nadpraží.

Památková péče stanovila obecné zásady, které určují, co všechno je nutné při rekonstrukci jednotlivých typů domků dodržet. Zateplení ostění otvorů je povoleno o max. tloušťce 20 mm. Z toho důvodu je ostění zatepleno touto tloušťkou. Je možné tedy měnit pouze materiál tepelné izolace.

Materiálové varianty zateplení:

- D. EPS
- E. PUR desky
- F. Aerogel



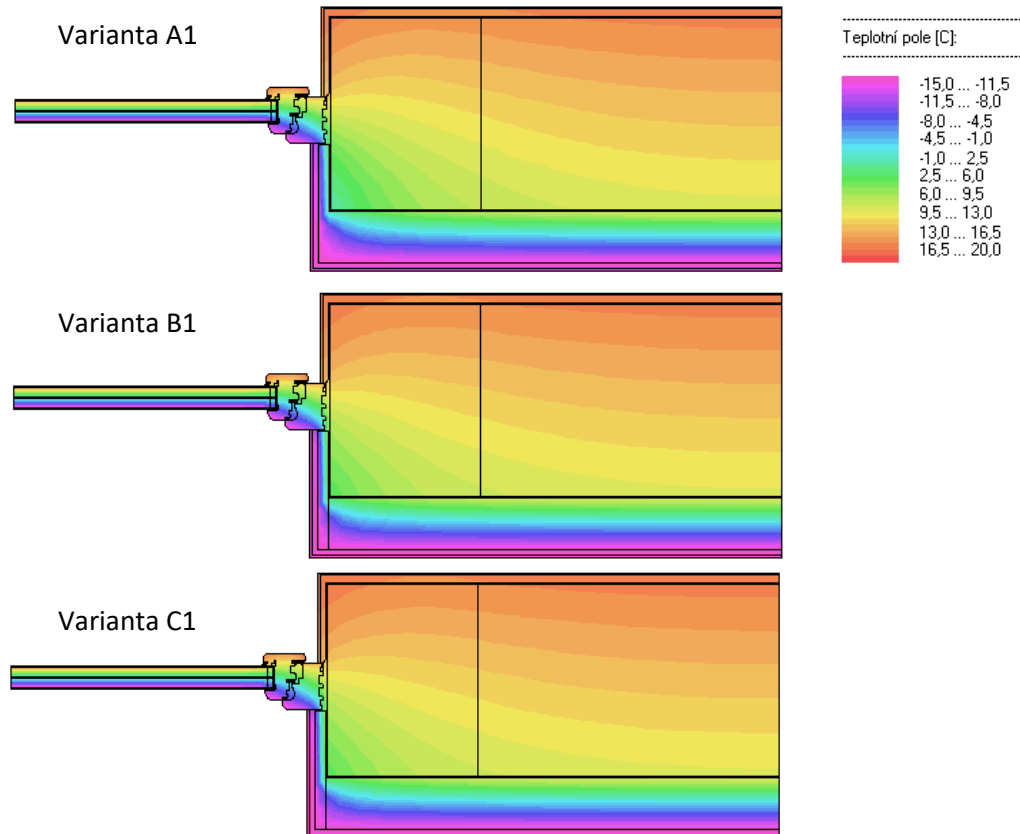
Tabulka 47 - tabulka materiálů detailu ostění v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<i>Solid Brick, historical</i>	1800	0,31	850	0,6	15
Vápenopísková cihla	<i>Lime Silica Brick Rutsch</i>	1755	0,34	868	0,722	16
Vnitřní štuk	<i>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	<i>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	<i>Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h<sup>0.5</sup>)</i>	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<i>EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m<sup>3</sup>)</i>	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	<i>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</i>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Okenní rám – dřevo smrkové	<i>Scandinavian spruce transverse direction II upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> <b>2510</b>	0,13	108
Sklo	<i>PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m) upraveno</i>	<del>130</del> <b>2600</b>	0,001	<del>2200</del> <b>840</b>	<del>1,65</del> <b>0,76</b>	<del>87000</del> <b>1000000</b>
Argon	<i>Air Layer 20 mm; without additional moisture capacity</i>	1,3	0,999	1000	<del>0,13</del> <b>0,02</b>	0,56
Distanční rámeček	<i>Polypropylen</i>	910	-	1470	0,16	50000
Těsnění dutiny	<i>Polypropylen</i>	910	-	1470	0,16	50000
Těsnění zasklení	<i>Těsnění ze silikonu</i>	1200	-	100	0,35	5000
Těsnění rámu	<i>Těsnění z EPDM</i>	1150	-	1000	0,25	6000
Vzduchová dutina 1	<i>Dutina blíže interiéru</i>	1,2	-	1010	0,188	0,4
Vzduchová dutina 2	<i>Dutina blíže exteriéru</i>	1,2	-	1010	0,305	0,2
Cihelný pásek	<i>Wienerberger Solid Brick</i>	1744	0,33	889	0,54	15
Malé vzduchové dutiny	<i>Uzavřená vzduch. dutina tl. 5 mm</i>	1,2	-	1010	0,045	2
PUR pěna	<i>Polyuretanová pěna</i>	70	-	2300	0,05	60
Vnější komprimační páska	<i>pro clima SOLITEX PLUS</i>	310	-	1500	0,17	145
Vnitřní těsnicí pásek	<i>pro clima INTELLO</i>	425	-	1500	0,17	50000
PUR desky	<i>TPD PUR 30/40 new therm system</i>	34,7	-	1500	0,022	20
Aerogel		150	> 95	1000	0,015	5



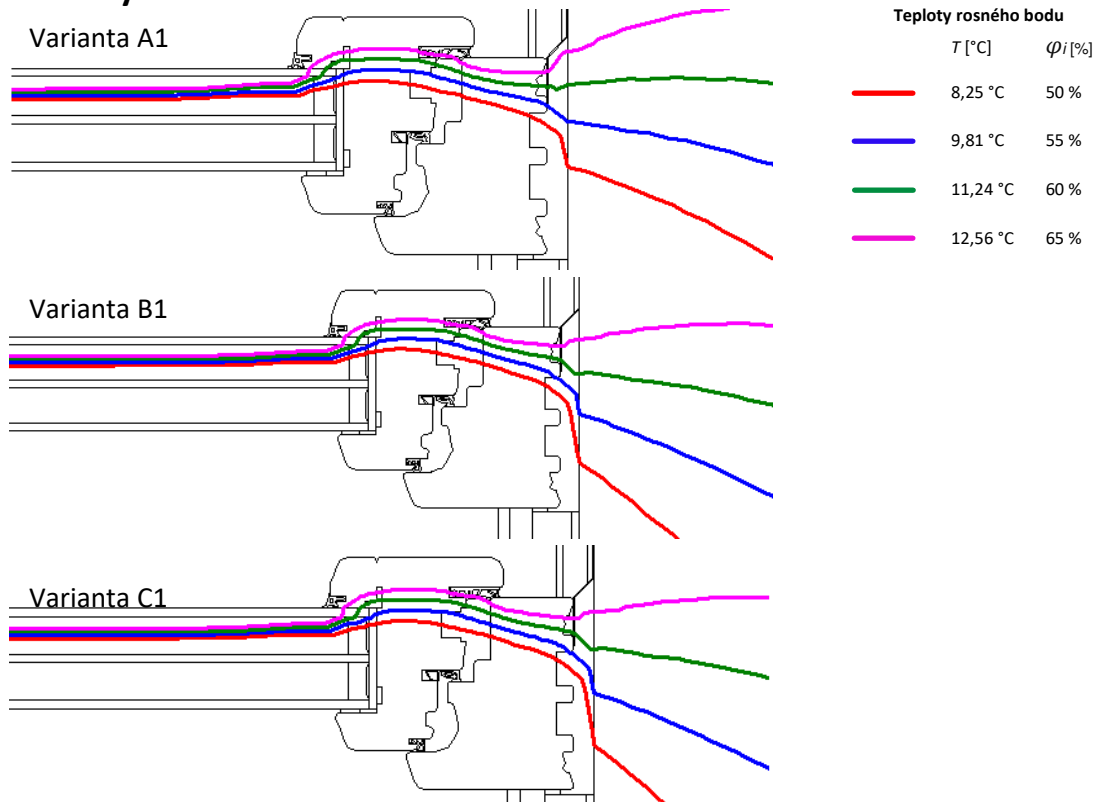
Výsledky

**Teplotní pole**



Obrázek 70 - teplotní pole detailu ostění v navrhovaném stavu ve variantách

**Izotermie**



Obrázek 71 - izotermie detailu ostění v navrhovaném stavu ve variantách



Tabulka 48 - vyhodnocení detailu ostění v navrhovaném stavu

VELIČINA	VAR.	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE	
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	A	0,129 [W/mK]	< 0,10 [W/mK]	NE	
	B	0,095 [W/mK]		ANO	
	C	0,077 [W/mK]		ANO	
Nejnižší vnitřní povrchová teplota na výplni otvoru $T_{si,p}$	A1	13,7 [°C]	Teplota rosného bodu pro $\varphi_i = 50\%$ ( $\varphi_{i,r} = 45\%$ ) $T_{ai} = 20,6\text{ °C}$	ANO	
	A2	11,7 [°C]		ANO	
	B1	14,3 [°C]		ANO	
	B2	11,8 [°C]		ANO	
	C1	14,3 [°C]		> 8,26 [°C]	ANO
	C2	11,8 [°C]		ANO	
Nejnižší vnitřní povrchová teplota na stavební konstrukci $T_{si,p}$	A1	13,7 [°C]	Riziko růstu plísní pro $\varphi_i = 50\%$ ( $\varphi_{i,r} = 45\%$ ) $T_{ai} = 20,6\text{ °C}$	ANO	
	A2	13,2 [°C]		ANO	
	B1	14,3 [°C]		ANO	
	B2	13,8 [°C]		ANO	
	C1	14,3 [°C]		> 11,59 [°C]	ANO
	C2	13,8 [°C]		ANO	
Varianta výpočtů s indexem: 1 – $R_{si,okno} = 0,13$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{si,kce} = 0,25$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{se} = 0,04$ [m <sup>2</sup> K/W] 2 – $R_{si,okno} = 0,25$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{si,kce} = 0,25$ [m <sup>2</sup> K/W], $R_{se} = 0,04$ [m <sup>2</sup> K/W]					

Z výsledku můžeme vidět, že varianty výpočtů A1 – C1 podle normy jsou vyhovující. Výsledky variant A2 - C2, kde byl zvýšen odpor na přestupu tepla u okna z  $R_{si} = 0,13$  m<sup>2</sup>K/W na hodnotu  $R_{si} = 0,25$  m<sup>2</sup>K/W jsou opět výrazně studenější. Povrchové teploty jsou vyhovující i při zvýšeném odporu na přestupu tepla.

Tabulka 49 - vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu ostění v navrhovaném stavu podle teplot rosného bodu pro vyšší relativní vlhkosti

VAR.	VÝSLEDKY	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.	POŽ.	VYHOV.
A1	13,69 [°C]	$\varphi_i = 55\%$ ( $\varphi_{i,r} = 50\%$ ) > 9,81 [°C]	ANO	$\varphi_i = 60\%$ ( $\varphi_{i,r} = 55\%$ ) > 11,24 [°C]	ANO	$\varphi_i = 65\%$ ( $\varphi_{i,r} = 60\%$ ) > 12,56 [°C]	ANO	$\varphi_i = 70\%$ ( $\varphi_{i,r} = 65\%$ ) > 13,79 [°C]	NE
A2	11,67 [°C]		ANO		ANO		NE		
B1	14,29 [°C]		ANO		ANO		ANO		
B2	11,83 [°C]		ANO		ANO		NE		
C1	14,29 [°C]		ANO		ANO		ANO		
C2	11,84 [°C]		ANO		ANO		NE		

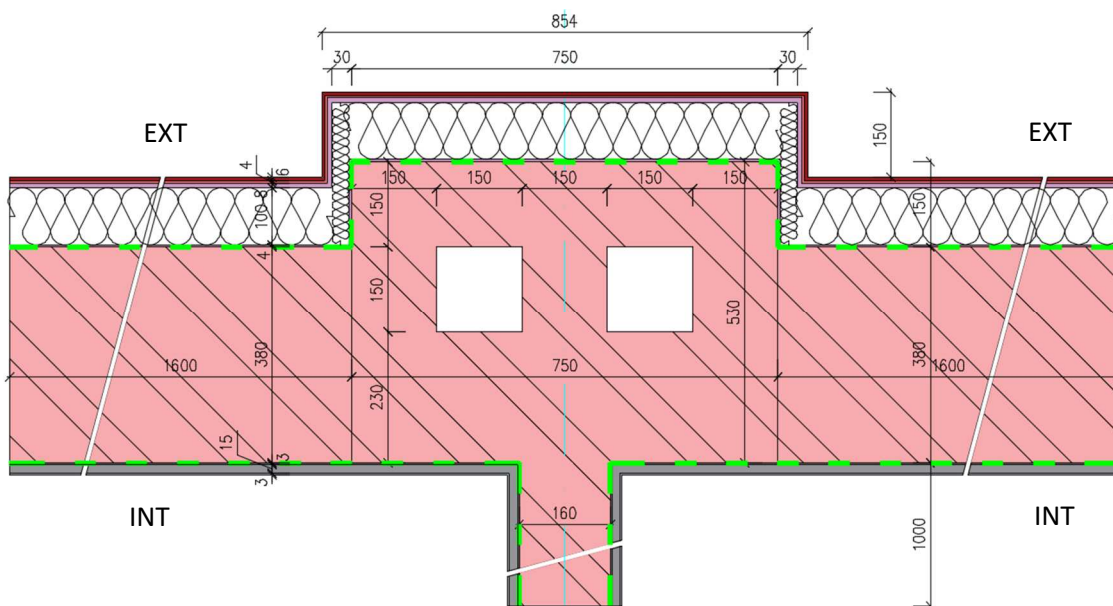
Kondenzace na vnitřním povrchu konstrukcí je velmi závislá na vnitřním provozu. Proto izotermie v detailu jsou provedeny pro více variant teplot rosného bodu v závislosti na relativní vlhkosti vnitřního prostředí. Tímto krokem je ověřováno, pro jak vysoké relativní vlhkosti vnitřního prostředí je detail vyhovující. Toto je ověřováno při zachování stejné vnitřní teploty vzduchu  $\vartheta_{ai} = 20,6\text{ °C}$  ( $\vartheta_i = 20\text{ °C}$ ).

V případě detailu ostění by ke kondenzaci na vnitřním povrchu výplně okenních otvorů mohlo docházet při stejných podmínkách, jako je tomu u detailu nadpraží.





## Detail komína



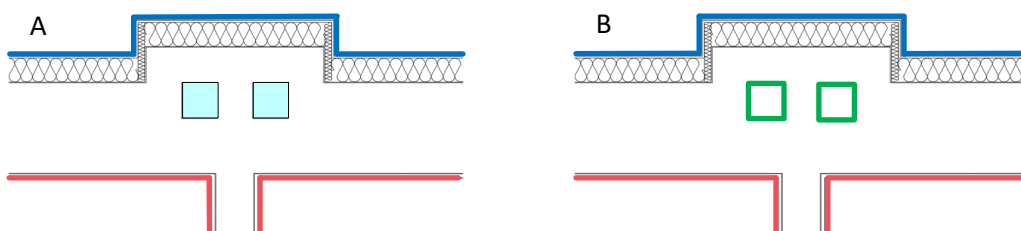
Obrázek 72 - schéma detailu zatepleného komína

Památková péče stanovila obecné zásady, které určují, co všechno je nutné při rekonstrukci jednotlivých typů domků dodržet. Zateplení bočních stěn komína je povoleno o max. tloušťce 30 mm, tak aby byl zachován jeho poměr vůči fasádě.

Detail zatepleného komínu je modelován podobně jako ve stávajícím stavu pomocí dvou variant za předpokladu, že komín je nefunkční

### Varianty výpočtů:

- A. Dutina je simulována pomocí materiálu vzduch
- B. Dutina je simulována okrajovými podmínkami s venkovní teplotou  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $R_{se} = 0,13\text{ [m}^2\text{K/W]}$



Obrázek 73 - schéma okrajových podmínek detailu komína v navrhovaném stavu

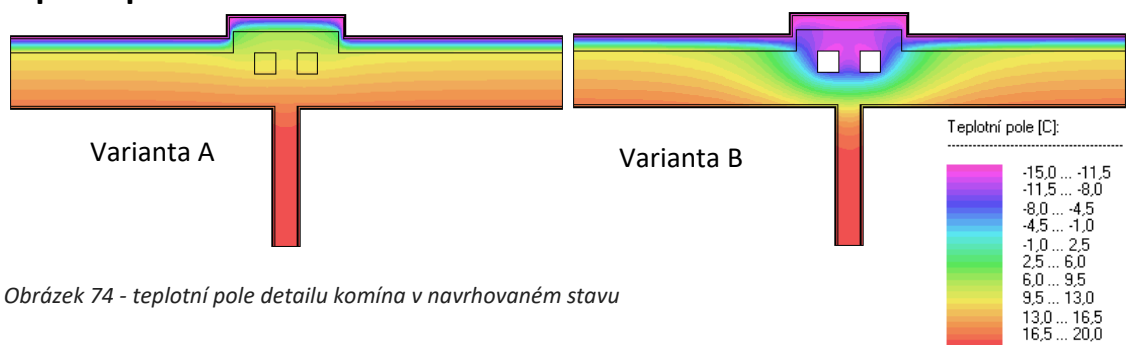


Tabulka 50 - tabulka materiálů detailu komína v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	<b>Solid Brick, historical</b>	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní štuk	<b>Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</b>	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	<b>Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</b>	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřík	<b>Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h0.5)</b>	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota	<b>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</b>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	<b>EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m<sup>3</sup>)</b>	15	0,95	1500	0,04	30
Lepidlo	<b>Knauf TecTem® Adhesive Mortar</b>	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Cihelný pásek	<b>Wienerberger Solid Brick</b>	1744	0,33	889	0,54	15
Vzduchová dutina v komíně	<b>Air Layer 150 mm</b>	1,3	0,999	1000	0,94	0,07

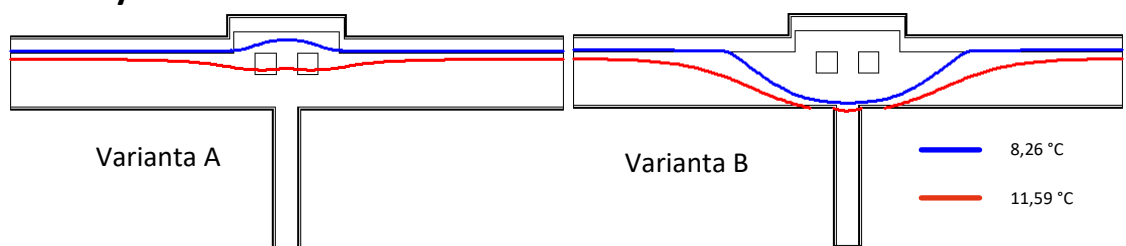
## Výsledky

### Teplotní pole



Obrázek 74 - teplotní pole detailu komína v navrhovaném stavu





### Izotermy



Obrázek 75 - izotermy detailu komína v navrhovaném stavu



Tabulka 51 – vyhodnocení detailu komína v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	A	0,069 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
	B	1,293 [W/mK]		NE
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	A	17,1 [°C]	> 8,26 [°C]	 ANO
			> 11,58 [°C]	 ANO
	B	10,8 [°C]	> 8,26 [°C]	 ANO
			> 11,58 [°C]	 NE

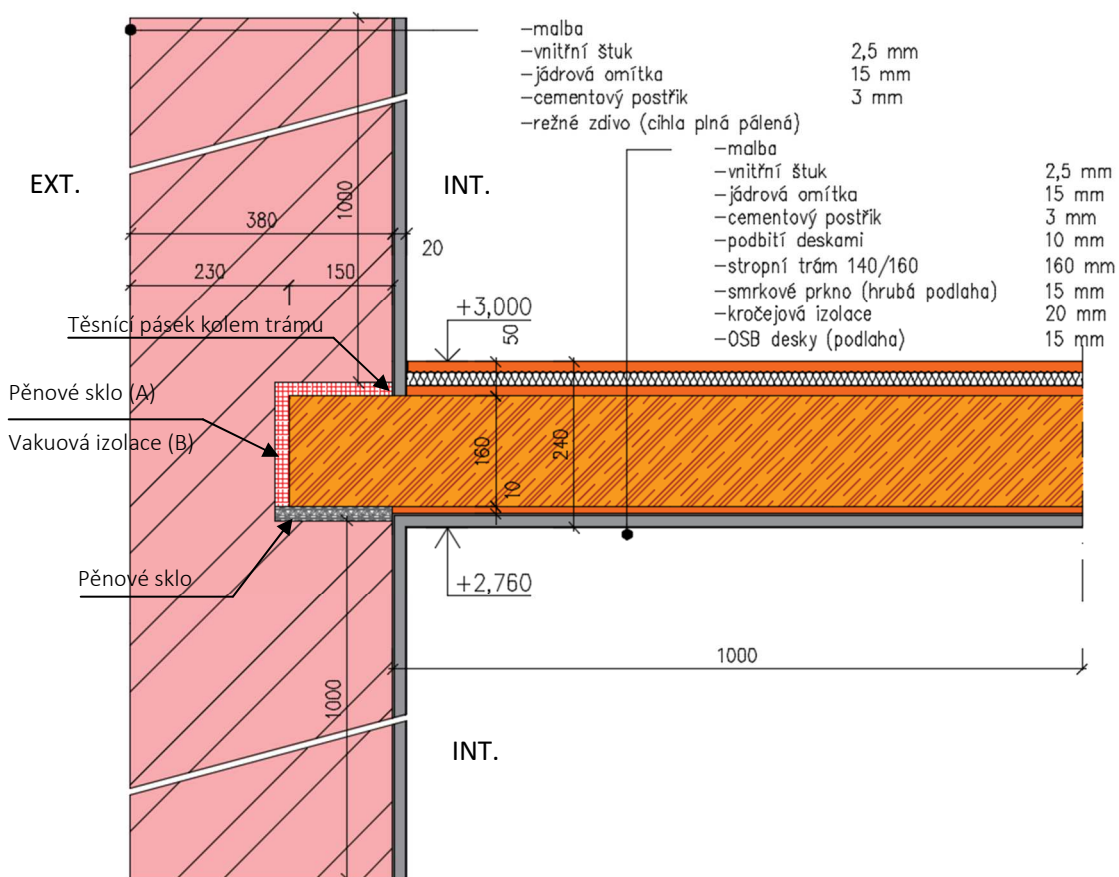
Z výsledků je možné říct, že pokud komín je nefunkční a při přestavbě nebude zabráněno proudění vzduchu komínovou dutinou, detail bude stále nevyhovující i po provedeném zateplení. V případě zabránění proudění vzduchu utěsněním všech otvorů prostupujících do dutiny pak je detail plně vyhovující. Pokud se přestavba komínu provede správně, může se jednat o detail teplejší, než je klasický kout.



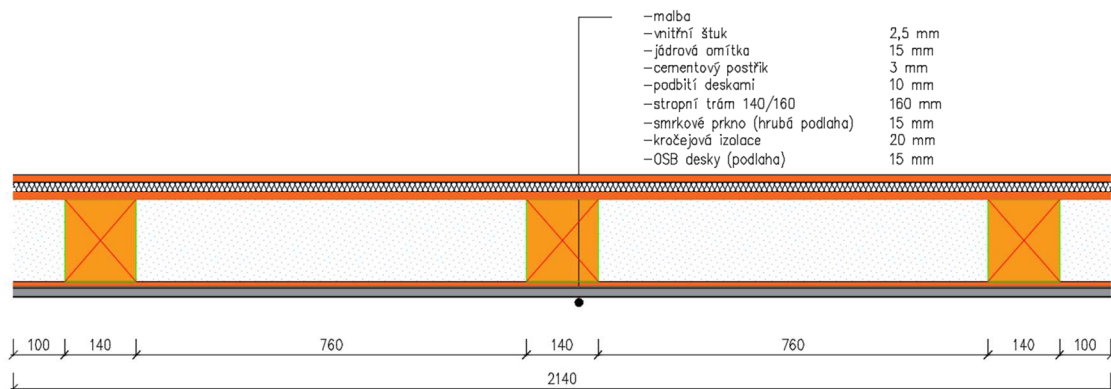
## Detail zhlaví trámu

Řešení detailu zhlaví trámu je provedeno ve třech variantách. První a druhá varianta představují řešení ještě před celkovým zateplením budovy. Trám po přestavbě vnitřních prostor je umístěn do původní zvětšené kapsy, kde je uložen do dvou variant tepelné izolace. Nejprve je zateplení kapsy trámu provedeno pomocí desek z pěnového skla a následně kombinace desek z pěnového skla a vakuové izolace. Třetí variantou je zateplení fasády venkovní izolací a trám uložen do původní zvětšené kapsy na impregnovaný podkladek a vzduchovou mezeru kolem trámu.

Varianta A - B



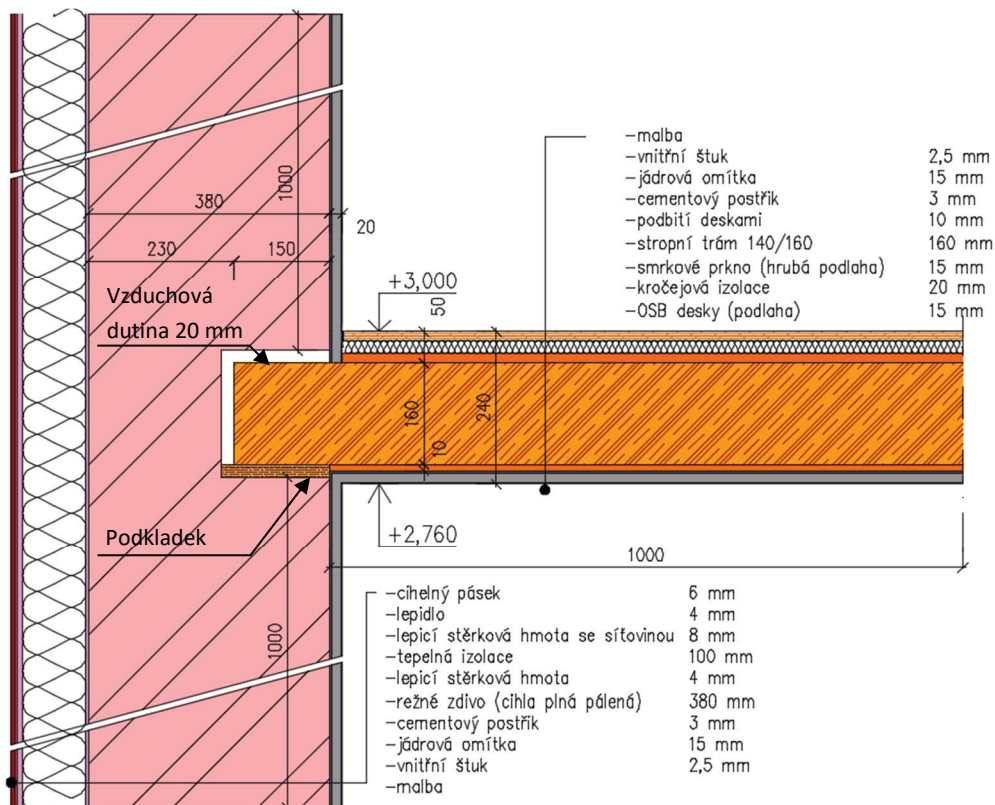
Obrázek 76 - schéma zateplení trámového zhlaví varianta A a B



Obrázek 77 - schéma řezu nové stropní konstrukce



Varianta C



Obrázek 78 - schéma zateplení zhlaví trámy varianta C

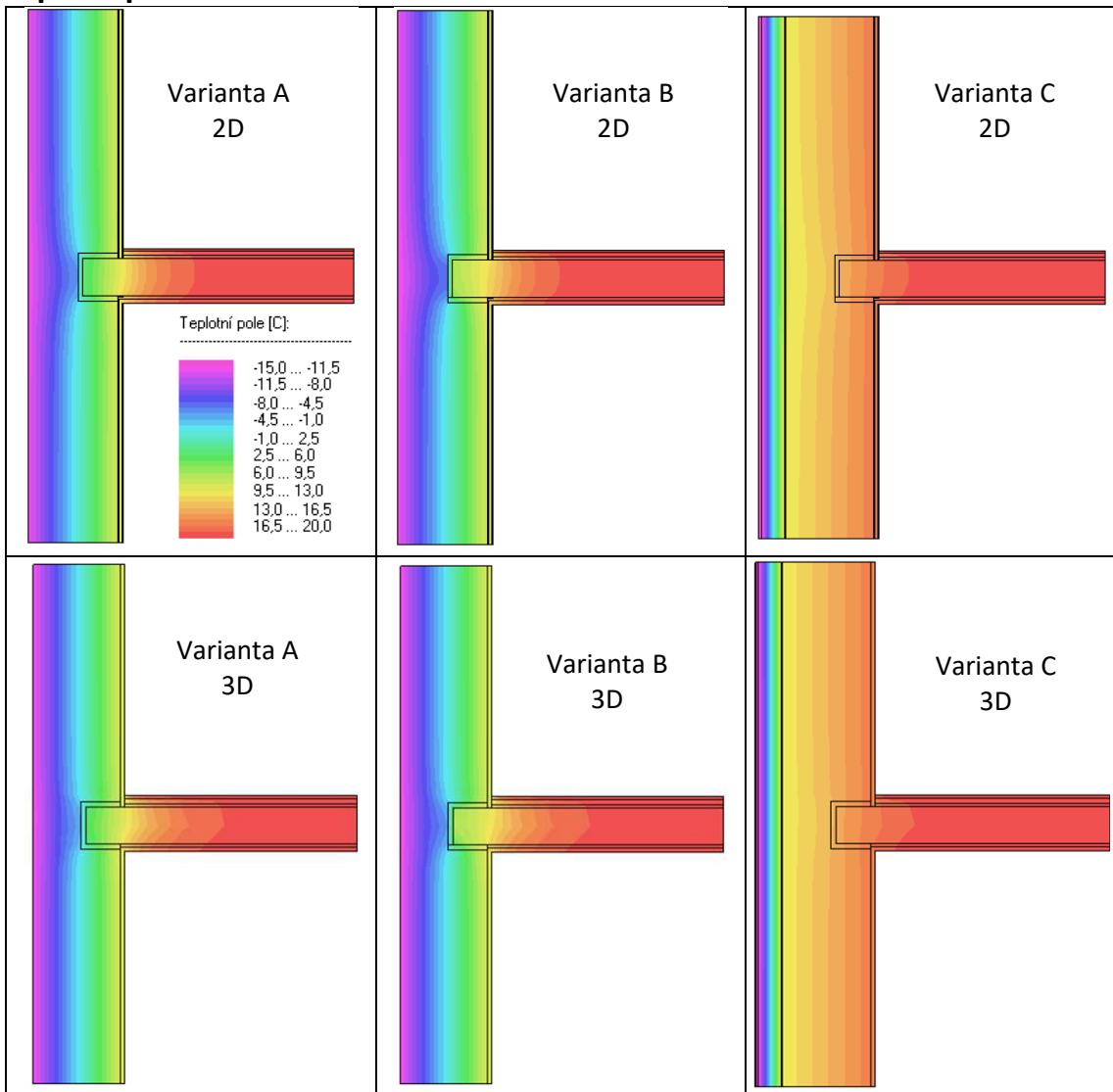
Tabulka 52 - tabulka materiálů detailu zhlaví trámy v navrhovaném stavu

Název		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
Zdivo CPP	Solid Brick, historical	1800	0,31	850	0,6	15
Vnitřní štuk	Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	1900	0,24	850	0,8	19
Jádrová omítka	Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	1900	0,25	850	0,8	25
Cementový postřik	Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m <sup>2</sup> h0.5)	2000	0,3	850	1,2	25
Lepicí stěrková hmota / lepidlo	Knauf TecTem® Adhesive Mortar	1397	0,47	1122	0,52	15,4
Tepelná izolace	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	0,95	1500	0,04	30
Dřevo smrkové	Scandinavian spruce transverse direction II <i>upraveno</i>	390	0,75	<del>1600</del> 2510	<del>0,13</del> 0,18 ± 0,41 //	108
Vzduchová dutina ve stropě	Air Layer 150 mm	1,3	0,999	1000	0,94	0,07
Vzduchová dutina ve zhlaví	Air Layer 20 mm	1,3	0,999	1000	0,13	0,56
Cihelný pásek	Wienerberger Solid Brick	1744	0,33	889	0,54	15
OSB deska	AIR OSB 3	600	0,6	1400	0,1	267
Kročejová izolace	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK – density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	0,95	1500	<del>0,04</del> 0,044	30
Impregnovaný podkladek	Oriented Strand Board (density: 630 kg/m <sup>3</sup> )	630	0,6	1400	0,13	650
Pěnové sklo - desky	Foamglas S3	128	0,25	1000	0,045	<del>1 500 000</del> 70 000
Vákuová izolace	ISOVER VACUPAD Kontur VVP 007	171	0,95	1050	0,009	1 000 000



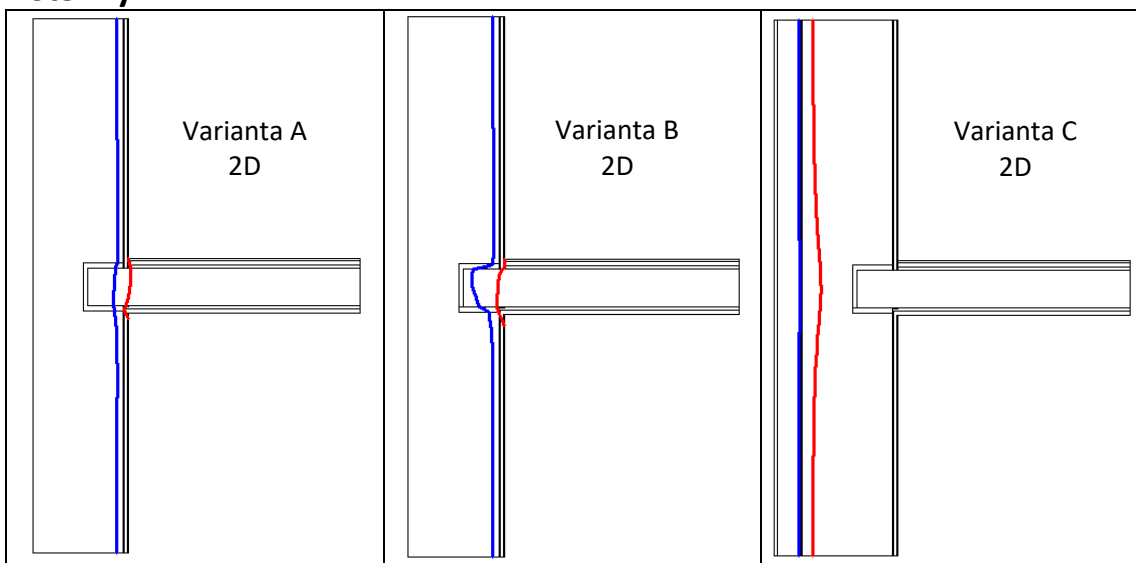
## Výsledky

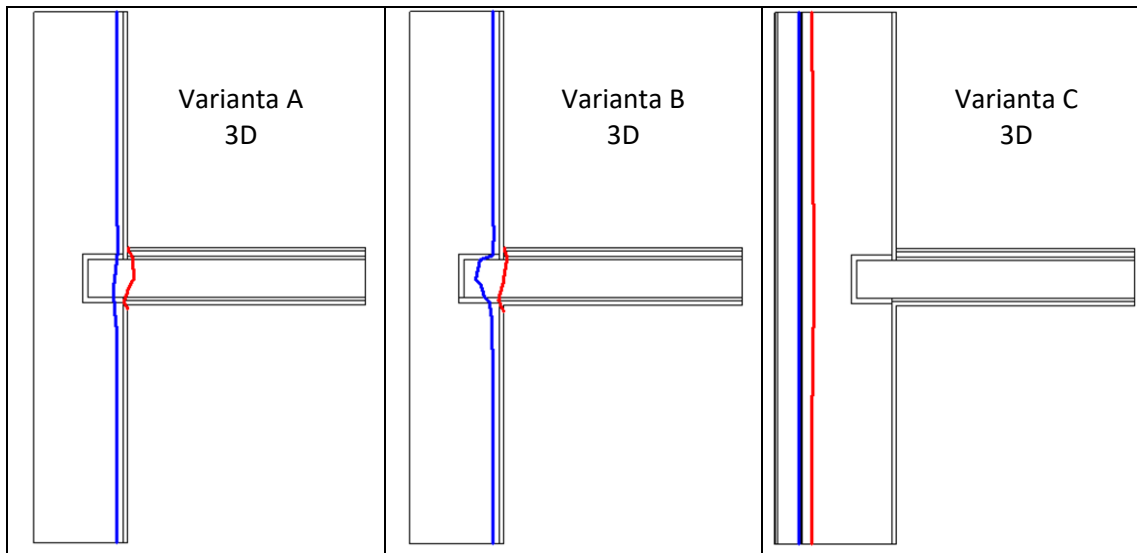
### Teplotní pole



Obrázek 79 - teplotní pole detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách

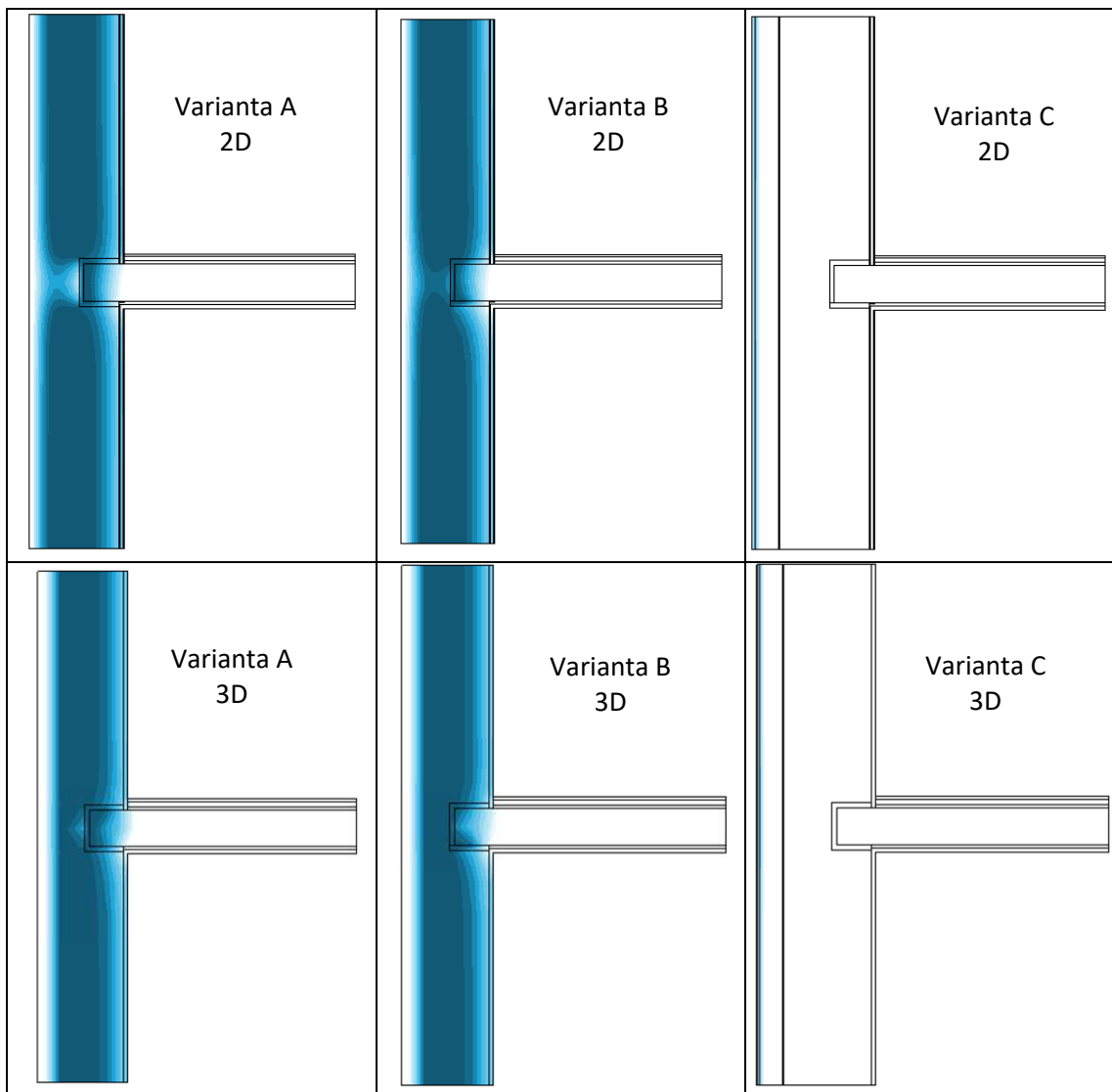
### Izotermy





Obrázek 80 - izotermie detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách

### Relativní vlhkosti



Obrázek 81 - pole relativních vlhkostí detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách







Tabulka 53 – vyhodnocení lineárního činitele prostupu tepla detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Lineární činitel prostupu tepla $\psi_e$	A	-0,017 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
	B	-0,044 [W/mK]		ANO
	C	-0,005 [W/mK]		ANO

Tabulka 54 – vyhodnocení teplot detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽAD.	VYHOVUJE	POŽAD.	VYHOVUJE
Nejnižší vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	2D	A	10,6 [°C]	NE	> 8,26 [°C] Kondenzace 	ANO
		B	10,6 [°C]	NE		ANO
		C	17,3 [°C]	ANO		ANO
	3D	A	10,5 [°C]	NE		ANO
		B	10,5 [°C]	NE		ANO
		C	17,4 [°C]	ANO		ANO
Nejnižší teplota zabudovaného trámu	2D	A	2,1 [°C]	NE	> 11,58 [°C] Plíseň 	NE
		B	5,3 [°C]	NE		NE
		C	14,4 [°C]	ANO		ANO
	3D	A	2,3 [°C]	NE		NE
		B	4,7 [°C]	NE		NE
		C	14,7 [°C]	ANO		ANO

Z výsledku je možné říct, že varianty A a B nejsou vhodným řešením detailu trámového zhlaví. V obou zmíněných variantách je jak vnitřní povrchová teplota, tak i teplota na zhlaví trámu nevyhovující. V obou případech není splněn požadavek na riziko tvorby plísní. Z obrázku relativních vlhkostí je jasné, že zhlaví trámu je vystaveno relativním vlhkostem vyšším než 80 %, což není vhodným prostředím pro dřevěný prvek. Varianta C je ve všech ohledech vyhovující. Teplota na zhlaví trámu poklesne o několik stupňů oproti vnitřní povrchové teplotě, ale stále je o několik stupňů vyšší než kritická teplota pro riziko růstu plísní.





### 3.1.5. Souhrn výsledků

Tabulka 55 – vyhodnocení lineárního činitele prostupu tepla všech detailů v navrhovaném stavu

DETAIL	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
KOUT	-0,138 [W/mK]	< 0,20 [W/mK]	ANO
SOKL	A 0,041 [W/mK]		ANO
	B -0,126[W/mK]		ANO
	C -0,156 [W/mK]		ANO
KOMÍN	A 0,069 [W/mK]		ANO
	B 1,293[W/mK]		NE
TRÁM	A -0,017 [W/mK]		ANO
	B -0,044 [W/mK]		ANO
	C -0,005 [W/mK]		ANO
PARAPET	A 0,149 [W/mK]		< 0,10 [W/mK]
	B 0,051 [W/mK]	ANO	
	C 0,024 [W/mK]	ANO	
NADPRAŽÍ	A 0,082 [W/mK]	ANO	
	B 0,036 [W/mK]	ANO	
	C 0,013 [W/mK]	ANO	
OSTĚNÍ	A 0,129 [W/mK]	NE	
	B 0,095 [W/mK]	ANO	
	C 0,077 [W/mK]	ANO	

Tabulka 56 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů v navrhovaném stavu

DETAIL	VÝSLEDKY	POŽAD.	VYHOVUJE	POŽAD.	VYHOVUJE
KOUT	14,6 [°C]	> 11,58 [°C] Plíseň 	ANO	> 8,26 [°C] Kondenzace 	ANO
SOKL	A 9,7 [°C]		NE		ANO
	B 13,8 [°C]		ANO		ANO
	C 15,1 [°C]		ANO		ANO
KOUT 3D	B 7,0 [°C]		NE		NE
	C 10,6 [°C]		ANO		ANO
PARAPET	A1 13,1 [°C]		ANO		ANO
	B1 13,8 [°C]		ANO		ANO
	C1 13,5 [°C]		ANO		ANO
NADPRAŽÍ	A1 13,7 [°C]		ANO		ANO
	B1 14,1 [°C]		ANO	ANO	
	C1 14,1 [°C]		ANO	ANO	
OSTĚNÍ	A1 13,7 [°C]		ANO	ANO	
	B1 14,3 [°C]		ANO	ANO	
	C1 14,3 [°C]		ANO	ANO	
KOMÍN	A 17,1[°C]		ANO	ANO	
	B 10,8 [°C]		NE	ANO	
TRÁM – POVRCH <sup>1</sup>	A 10,5 [°C]		NE	ANO	
	B 10,5 [°C]		NE	ANO	
	C 17,4 [°C]		ANO	ANO	
TRÁM – ZHLAVÍ <sup>2</sup>	A 2,3 [°C]	NE	NE		
	B 4,7 [°C]	NE	NE		
	C 14,7 [°C]	ANO	ANO		

<sup>1</sup> – Nejnižší vnitřní povrchová teplota 3D; <sup>2</sup> - Nejnižší teplota zabudovaného trámu 3D



## 3.2. Dynamický výpočtový model

### 3.2.1. Metody výpočtů

Viz kapitoly 2.2.1. *Metody výpočtů* a 3.1.1. *Metody výpočtů*

### 3.2.2. Vstupní údaje

Viz kapitola 2.2.2. *Vstupní údaje*

### 3.2.3. Zjednodušení a úpravy

Výsledky výpočtu navrhovaného stavu konstrukce nejsou zatíženy tak velkou chybou oproti stávajícímu stavu. Teplotní změny v rámci konstrukce probíhají především ve vrstvě navrhované tepelné izolace, která již disponuje o něco horšími vlastnostmi, než udávají výrobci vybraných typů izolace. Přirážka k výsledkům stanovená ve výpočtech stávajícího stavu tedy již není použita pro výsledky v navrhovaném stavu.



### 3.2.4. Výsledky a vyhodnocení

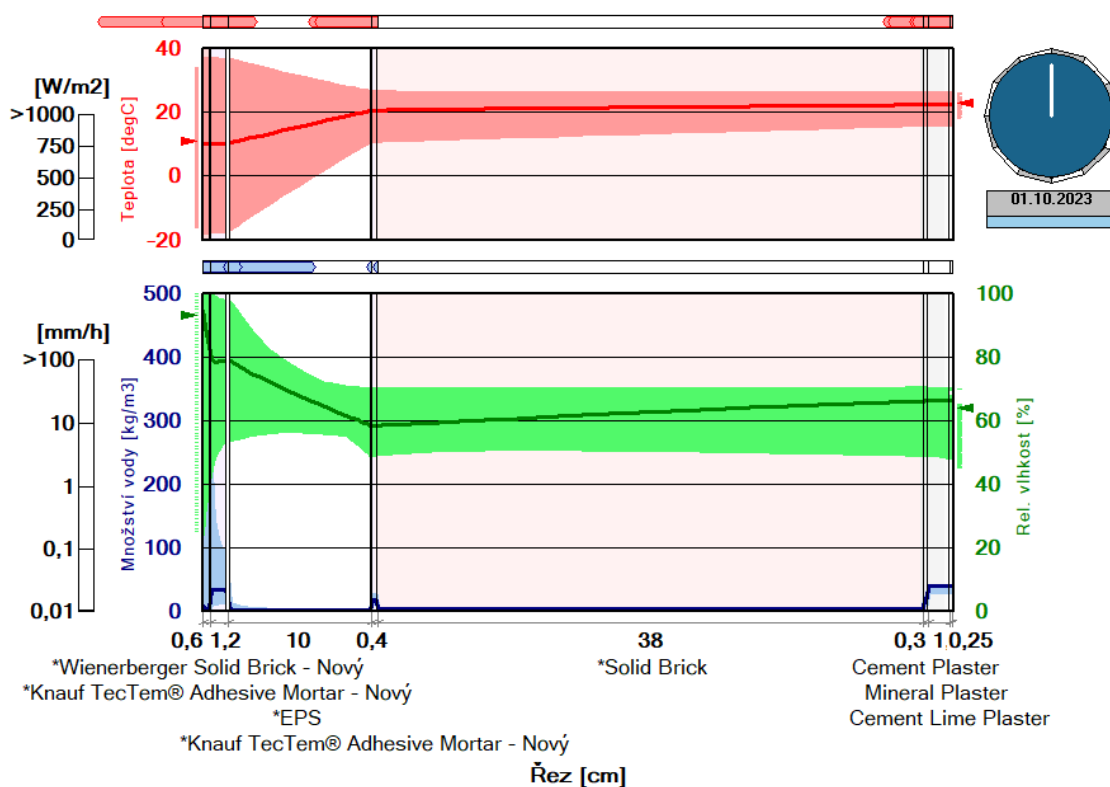
#### Detail stěny 1D

##### Vnější zateplení

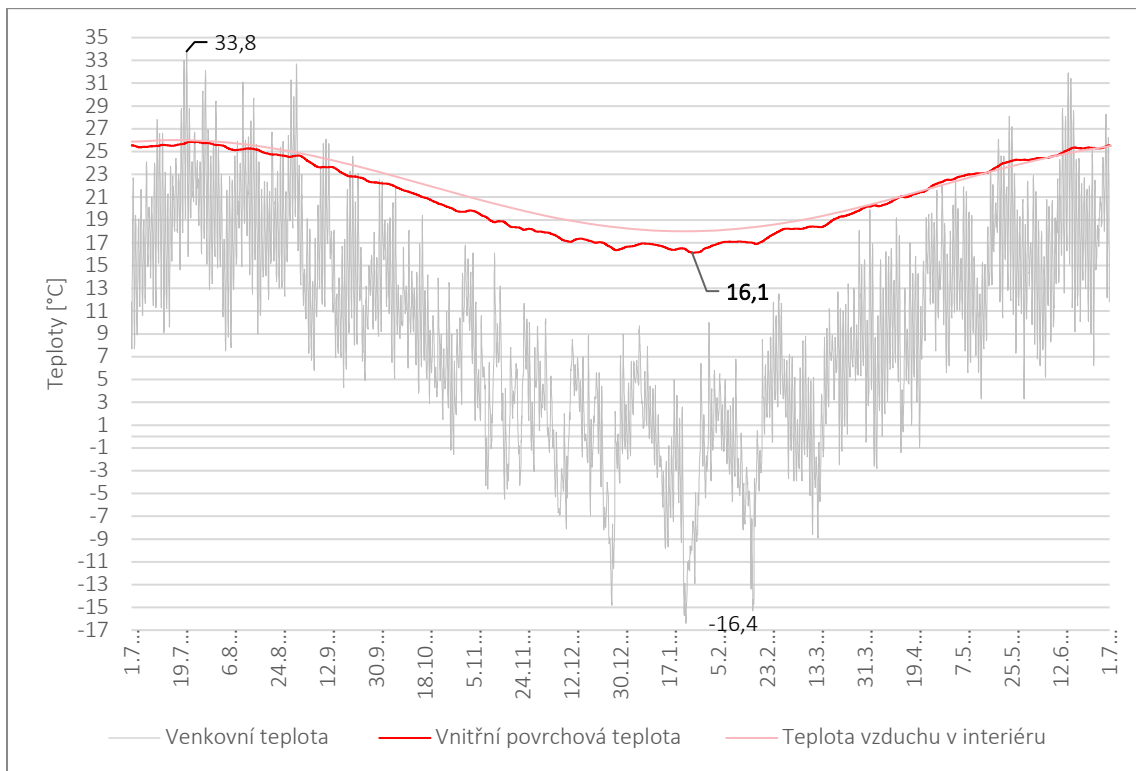
Schéma vnějšího zateplení obvodové konstrukce viz kapitola 3.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail stěny 1D – Vnější zateplení*

Při výpočtech v dynamickém výpočtovém modelu se předpokládá, že teploty na vnitřním povrchu budou dosahovat o něco nižších teplot v zimním období z důvodů proměnlivosti vnějších okrajových podmínek a zvolených vnitřních okrajových podmínek. Dále se předpokládá, že zateplení ochrání stávající konstrukci před vnějšími vlivy. Nedostane se do ní např. vlhkost z venkovního prostředí vlivem deště, a tím nebude narušována jeho struktura. Nosná konstrukce tedy nebude namáhána teplotními ani vlhkostními změnami. Jak již je spočteno v ustáleném stavu, konstrukce by neměla být namáhána difúzně prostupující vlhkostí.

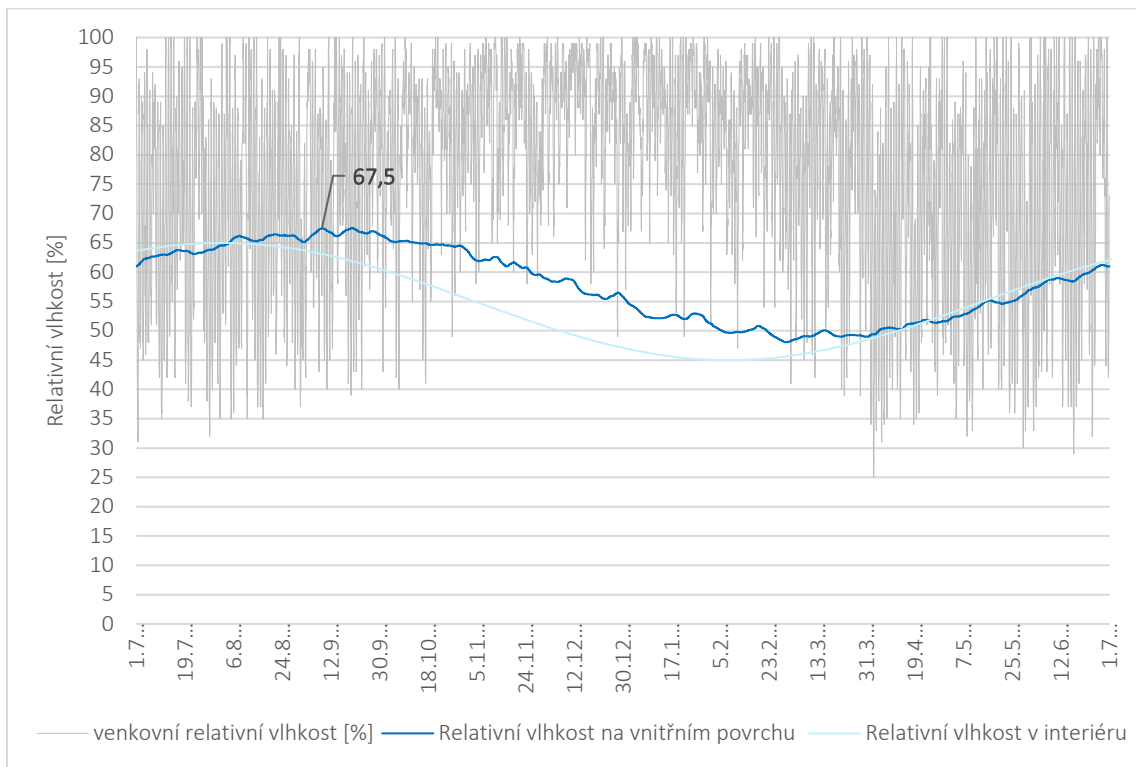
##### Výsledky



Obrázek 82 - průběhy teplot a relativních vlhkostí konstrukcí po celé období výpočtu skladby obvodové konstrukce s vnějším zateplením







Graf 24 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnějším zateplením



Graf 25 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnějším zateplením



Tabulka 57 - vyhodnocení skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnějším zateplením

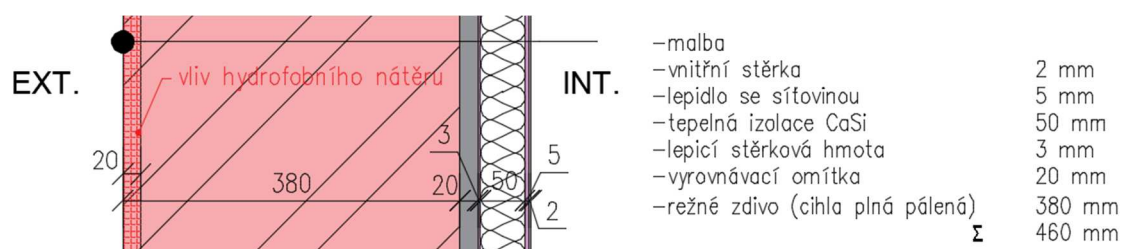
VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Součinitel prostupu tepla $U$	0,289 [W/m <sup>2</sup> K]	< 0,3 [W/m <sup>2</sup> K]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	16,1 [°C]	> 5,35 [°C]	 ANO
		> 8,59 [°C]	 ANO
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu	67,0 [%]	< 100 [%]	 ANO
		< 80 [%]	 ANO

Z výsledku je vidět, že na nosnou konstrukci v průběhu roku působí vlhkosti v rozmezí cca 50 - 70 % a teploty v rozmezí 10 - 25 °C. Konstrukce tedy, jak se předpokládalo, není vystavena velkým teplotním a vlhkostním změnám. Zároveň není vystavena ani vysokým vlhkostem. Ke kondenzaci v konstrukci nedochází. Všechny vlhkostní procesy probíhají především ve vrstvách cihelného pásku, omítky a také tepelné izolace. Tyto vrstvy jsou také nejvíce namáhány z teplotního hlediska. Čelí změnám teplot venkovního prostředí, a tak jsou namáhány i z důvodu teplotní roztažnosti.

Z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty je skladba vyhovující i přes to, že teplota z dynamického výpočtového modelu je o dva stupně nižší než z ustáleného stavu. Stále se jedná o poměrně vysokou povrchovou teplotu. Z hlediska kondenzace a tvorby plísní je taktéž vyhovující, jelikož relativní vlhkost na vnitřním povrchu nepřesahuje kritickou hodnotu.



## Vnitřní zateplení



Graf 26 - schéma skladby vnitřního zateplení obvodové konstrukce

Jako nejvhodnější izolant pro vnitřní zateplení jsou vybrány hygroskopické tepelně izolační desky z kalciumsilikátu. Po výpočtech v ustáleném stavu je zjištěno, že v konstrukci dochází k rozsáhlé kondenzaci vodních par na rozhraní materiálů. Tento materiál disponuje poměrně vysokým koeficientem kapilární absorpce  $A_w$  [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ ]. Vlivem kapilární absorpce by v tomto materiálu mělo docházet k transportu zkondenzované vlhkosti a nasycené vodní páry. Při vzniku kondenzátu nebo již při vysokém obsahu vlhkosti uvnitř konstrukce je vlhkost transportována na vnitřní povrch konstrukce, kde následně dochází k odpařování. Jelikož se jedná o vlastnost materiálu, která je závislá na čase a není tedy uvažována ve výpočtech v ustáleném stavu, je pro ověření vhodnosti skladby nutné provést výpočet v dynamickém výpočtovém modelu.

Výpočet v dynamickém výpočtovém modelu je proveden ve dvou variantách. První varianta simuluje provedení vnitřního zateplení pomocí vybraného materiálu bez provedení jakýchkoli úprav na venkovní straně obvodového zdiva. Fasáda budovy je tedy ponechána v původním stavu a je vystavena veškerým vnějším vlivům. Druhá varianta simuluje taktéž vnitřní zateplení se stejným izolantem o stejné tloušťce, kde venkovní strana obvodového zdiva je renovována a opatřena hydrofobním nátěrem. Tento nátěr by měl snížit množství nasakované dešťové vody pórovitým zdivem z cihly plné pálené. Jak je vidět na obrázku výše, vliv nátěru je simulován do tloušťky 20 mm zdiva. Ve výpočtu je těchto vlastností dosaženo změnou součinitele transportu kapalné vlhkosti – sání při použití stejného materiálu jako pro celé zdivo. Součinitel je pozměněn tak, aby hodnotami odpovídal specifikaci udávané výrobcem hydrofobního nátěru po použití na lícové cihly [18].

### Varianty výpočtů:

- A. Fasáda bez úprav
- B. Hydrofobní nátěr

Varianty výpočtů jsou takto zvoleny z toho důvodu, aby bylo možné říct, jaký vliv na konstrukci může mít déšť v souvislosti s vnitřním zateplením bez jakýchkoli úprav fasády. Zároveň je možné stanovit, zda hydrofobní nátěr ovlivní množství vlhkosti v konstrukci.

Po provedení výše uvedených výpočtů je provedena druhá sada výpočtů s cílem porovnání použití jiných tepelných izolantů, které nejsou běžně doporučeny pro vnitřní zateplení s difúzně otevřenou skladbou obvodové konstrukce.

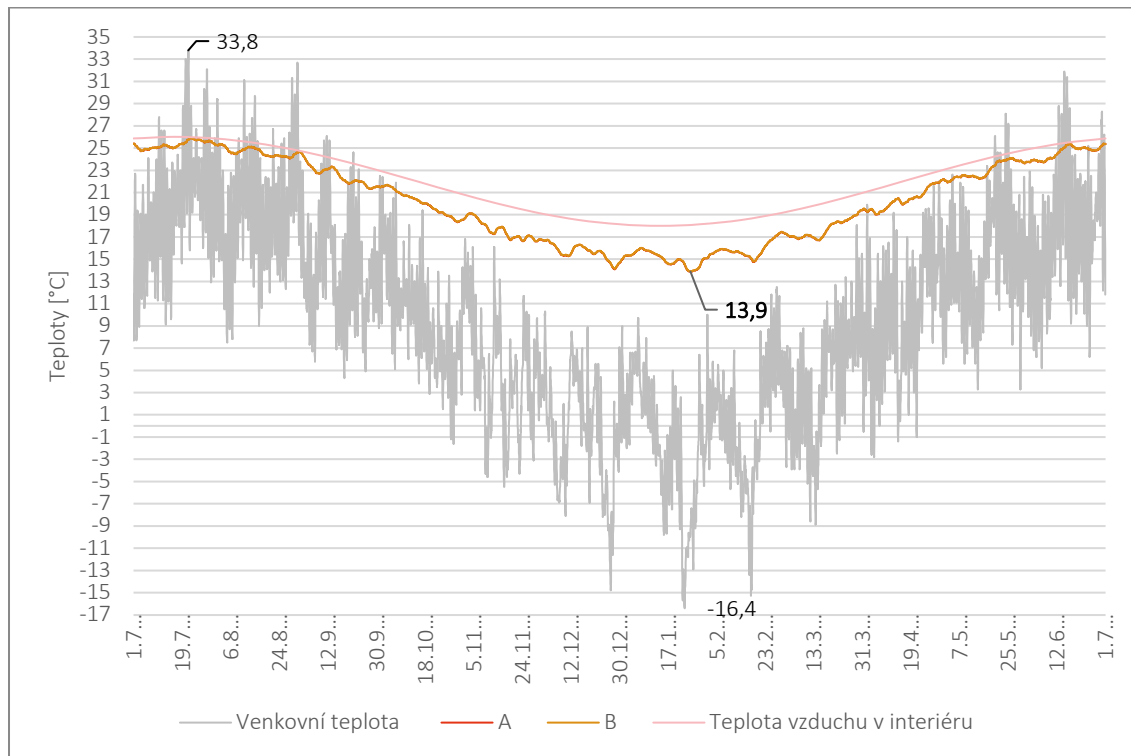
### Varianty výpočtů:

- A1. Kalciumsilikát
- A2. Minerální vlna
- A3. Dřevovláknitá izolace

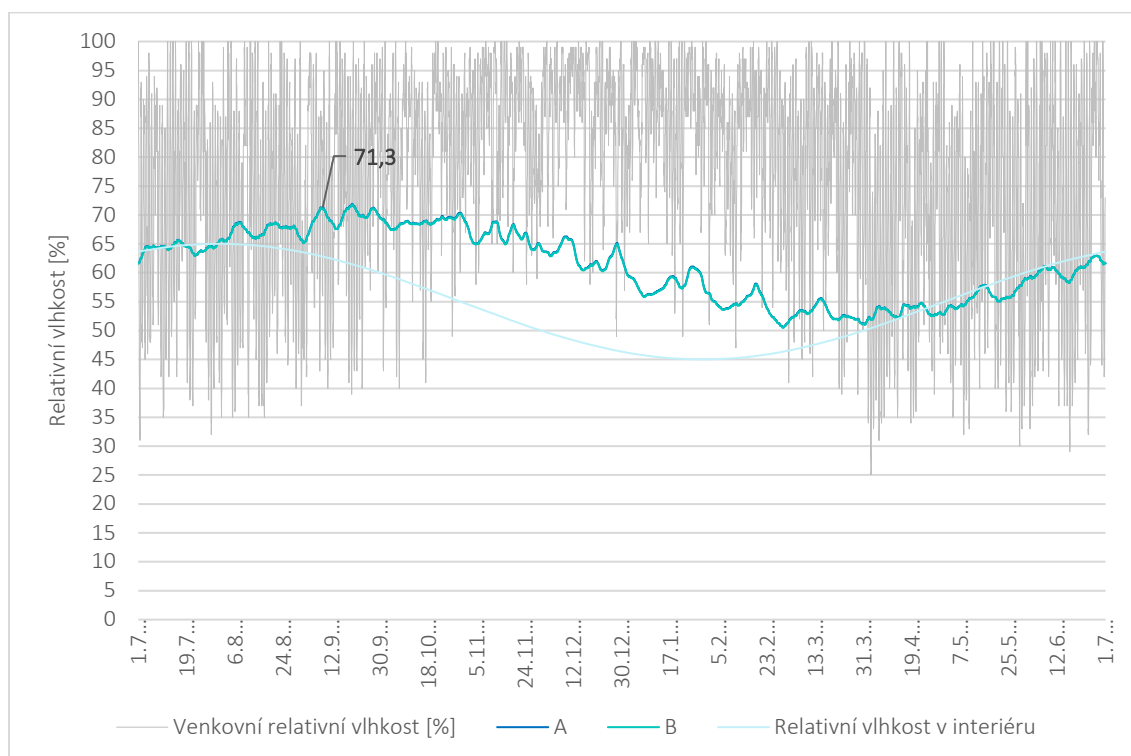




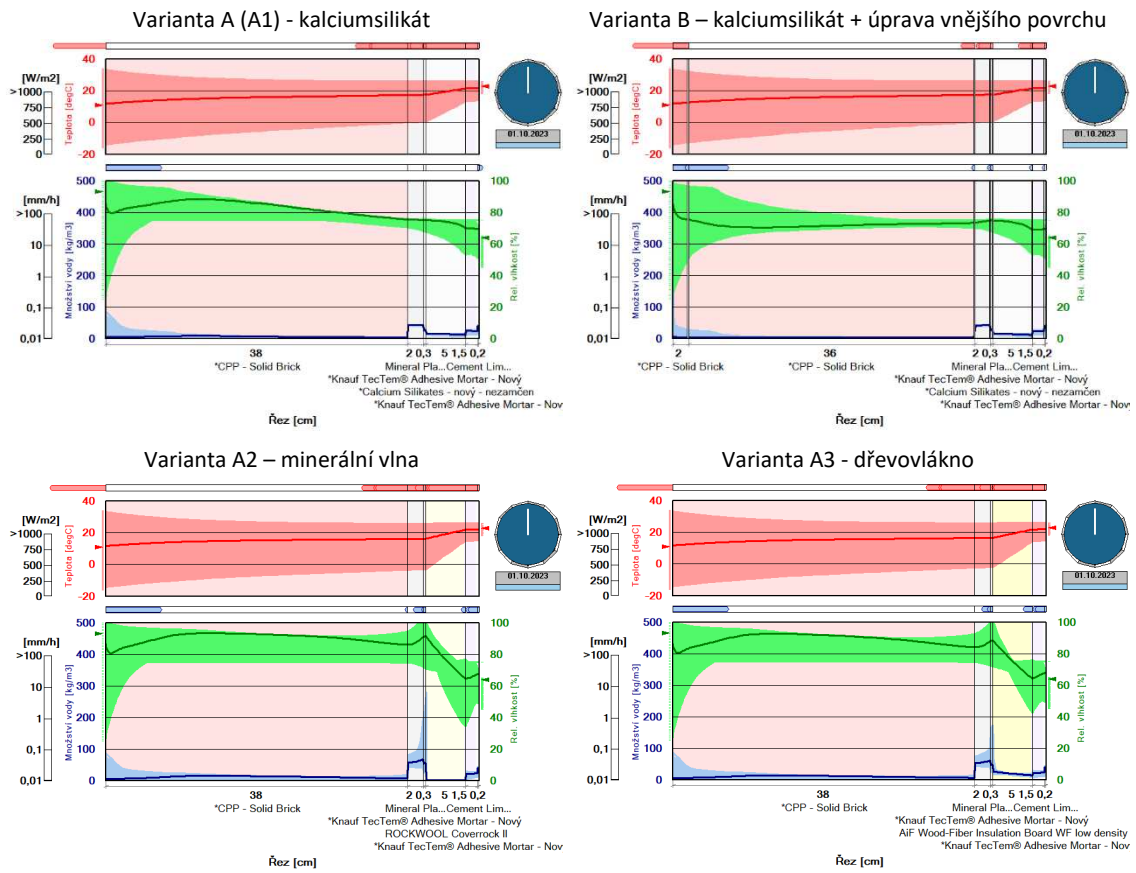
## Výsledky



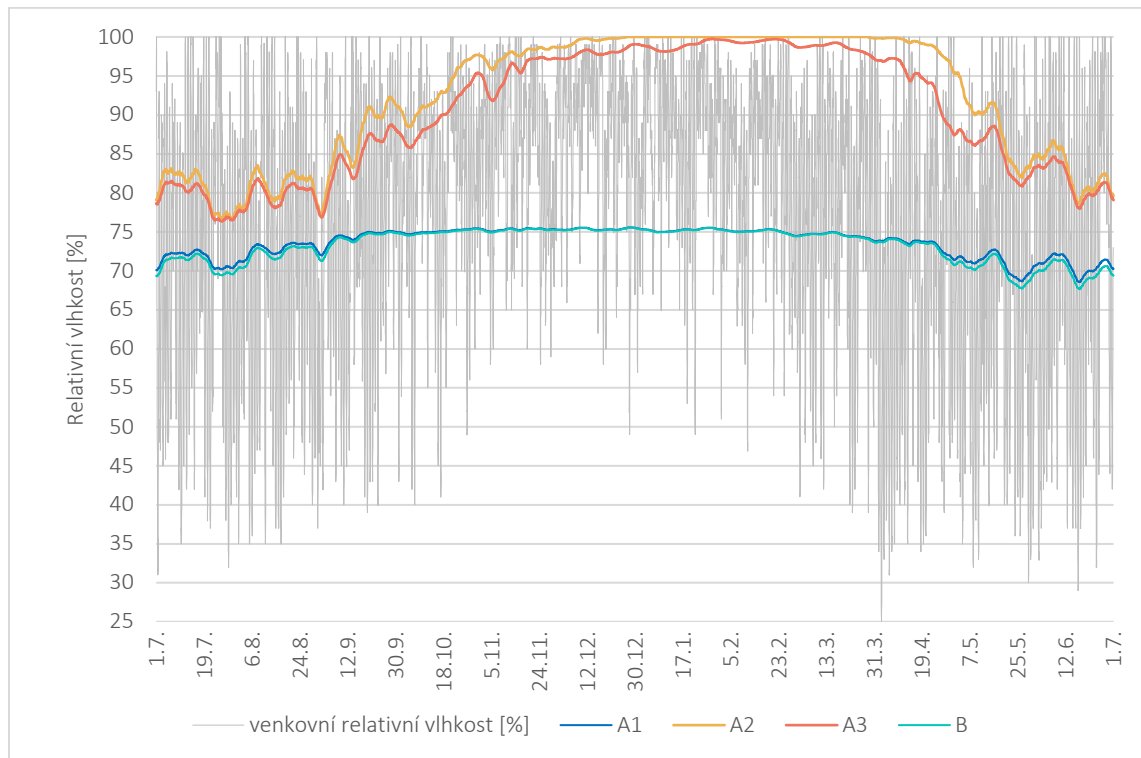
Graf 27 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením



Graf 28 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením



Obrázek 83 - průběhy teplot a relativních vlhkostí konstrukcí po celé období výpočtu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením ve variantách



Graf 29 - relativní vlhkost na rozhraní vnitřního zateplení a lepidla (kraj izolace blíže exteriéru) skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením ve variantách

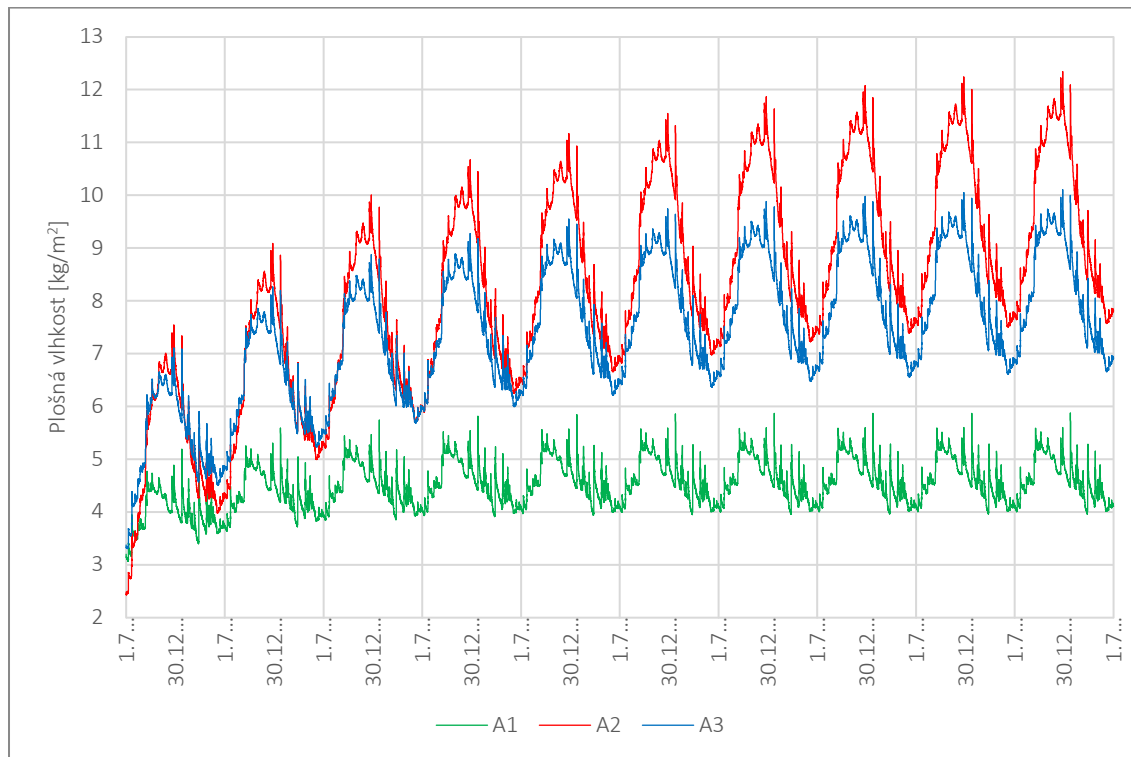


Tabulka 58 - vyhodnocení skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	A	13,9 [°C]	> 5,35 [°C]	ANO
	B		> 8,59 [°C]	ANO
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu	A	71,3 [%]	< 100 [%]	ANO
	B		< 80 [%]	ANO

Z grafů a tabulky je zřejmé že hydrofobní nátěr nemá absolutně žádný vliv na vnitřní povrch. Při pohledu na graf relativních vlhkostí na rozhraní tepelné izolace a materiálu je možné říct, že v nejchladnějším období je vliv hydrofobního nátěru zanedbatelný. Proto s ohledem na tuto problematiku není nátěr na venkovní fasádě nezbytný. Při porovnání obrázků průběhu teplot a relativních vlhkostí po celé období výpočtů ve variantě s a bez nátěru je zřejmé, že nátěr zabraňuje prosáknutí dešťové vody do konstrukce z povrchu fasády. Tyto vlastnosti mohou pomoci zachovat fasádu v udržitelném stavu a zároveň zabránit erozi vnějšího povrchu.

Z porovnání vybraných tepelných izolací pro použití na vnitřní zateplení při zachování difúzně otevřené konstrukce je zřejmé, že nelze pro tento typ zateplení použít libovolnou izolaci. Absolutně nejhorší variantou pro vnitřní zateplení je minerální vlna. Skrz tuto izolaci vlhkost téměř volně prostupuje na rozhraní s lepidlem, kde teplota je výrazně nižší než na vnitřním povrchu. Dle grafu relativních vlhkostí na rozhraní vnitřního zateplení a lepidla v období od prosince do dubna v tomto místě dochází ke kondenzaci vodních par.



Graf 30 - plošná vlhkost skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením v průběhu deseti let



Zkondenzovaná vlhkost se v konstrukci akumuluje v průběhu několika let, než se roční bilance ustálí. Pro tento účel jsou provedeny výpočty variant A1 až A3 po dobu deseti let. V grafu plošných vlhkostí skladby lze pozorovat stoupající tendenci obsahu vlhkosti. Plošná vlhkost celé skladby se ve variantě A1 ustálí již po třech letech. Ve variantách A2 a A3 se po deseti letech zmírní nárůst plošné vlhkosti a téměř dojde k ustálení. Roční nárůst množství plošné vlhkosti skladby je ve variantách A2 a A3 přibližně 2x, respektive 2,5x vyšší oproti variantě A1.

Materiály zvolené ve variantách A2 a A3 nejsou schopné redistribuovat vlhkost tak, jako materiál ve variantě A1 a kondenzace není odvedena k vnitřnímu povrchu. Zároveň se jedná o materiály s velmi nízkými hodnotami difúzního odporu. Toto jsou tedy nejpravděpodobnější důvody kondenzace vodních par na rozhraní vnitřní tepelné izolace a lepidla. Vzduch z vnitřního prostředí se může téměř volně dostávat k tomuto rozhraní. Lze tedy předpokládat, že na tomto rozhraní může docházet k riziku tvorby plísní. Kondenzace na rozhraní může zároveň výrazně ovlivnit funkci tepelného izolantu. Z provedených výpočtů a jejich výsledků je zřejmé, že izolanty zvolené ve variantách A2 a A3 nejsou vhodné pro vnitřní zateplení s difúzně otevřenou konstrukcí.

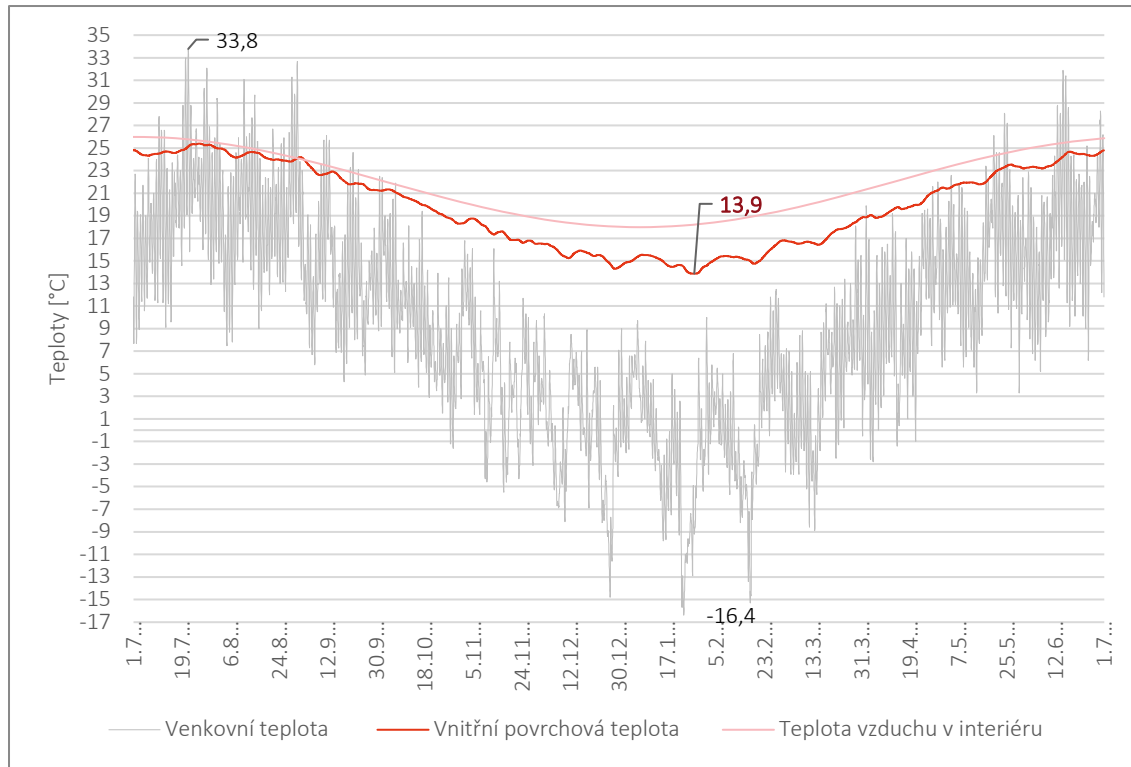
Po provedení veškerých výpočtů lze jednotlivé druhy zateplení porovnat a vyhodnotit, které jsou nejvhodnější pro použití na řešeném objektu. Vnitřní zateplení sice umožňuje zachovat vnější fasádu a všechny její prvky v původním stavu, ale současně zmenšuje již tak malý vnitřní prostor. Z výpočtů vyplývá, že při použití tohoto zateplení je původní konstrukce oddělená od vnitřního prostoru a vystavená vnějším vlivům. Současně budova přichází o akumulační schopnost obvodových stěn, která může pomáhat jak v zimě pro zachování tepla, tak v létě proti přehřívání. Provedení vnitřního zateplení a materiály k tomu potřebné jsou výrazně dražší oproti běžnému vnějšmu zateplení. Zároveň je nutná vysoká odbornost prováděcí firmy. Je nutné precizní řešení a provedení všech detailů navazujících na venkovní prostředí. Příkladem takového detailu může být i příčka napojená na obvodovou konstrukci, která po provedení vnitřního zateplení vytváří tepelný most. Vnější zateplení původní konstrukci oddělí od vnějšího prostředí a její teplota se blíží teplotě vnitřního prostředí. Tento druh zateplení nezamezuje akumulaci tepla do konstrukce z interiéru, a tím zlepšuje tepelnou stabilitu vnitřního prostředí. Památková péče pro řešený domek povoluje vnější zateplení při dodržení stanovených zásad. Na základě provedených výpočtů a porovnání vhodnosti jednotlivých druhů zateplení je vybrána varianta s vnějším zateplením.



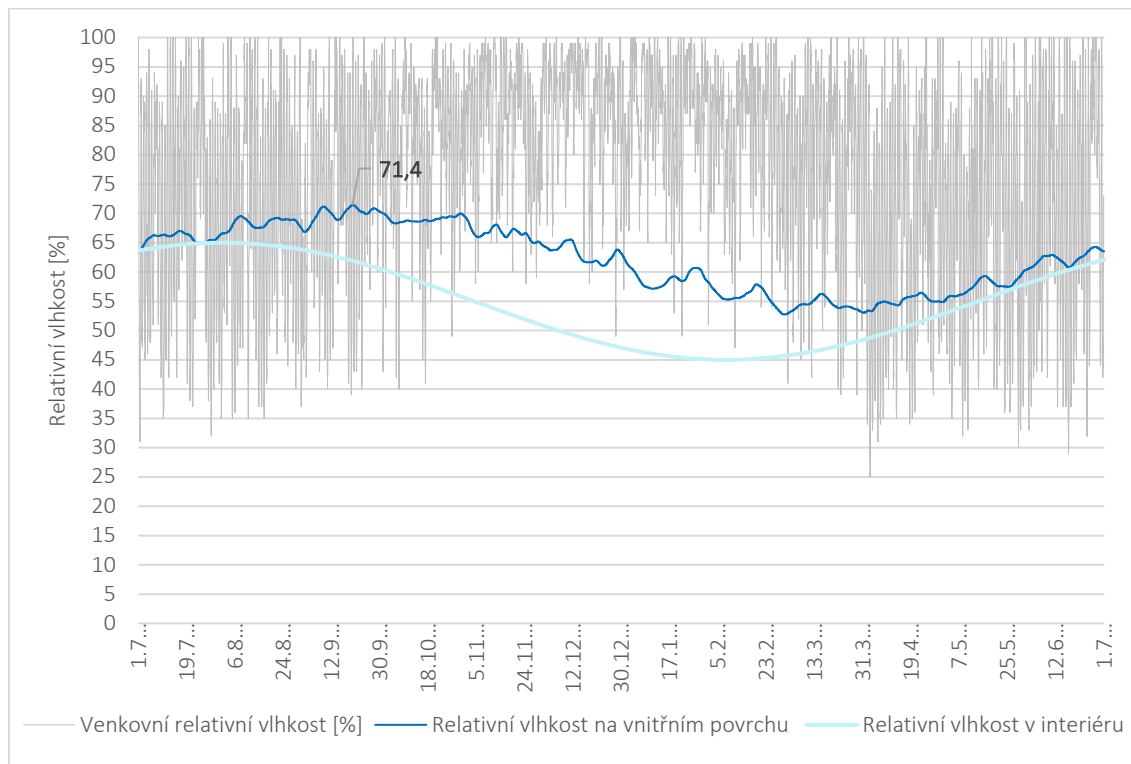
## Detail koutu stěny

Schéma detailu koutu viz kapitola 3.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail koutu stěny*

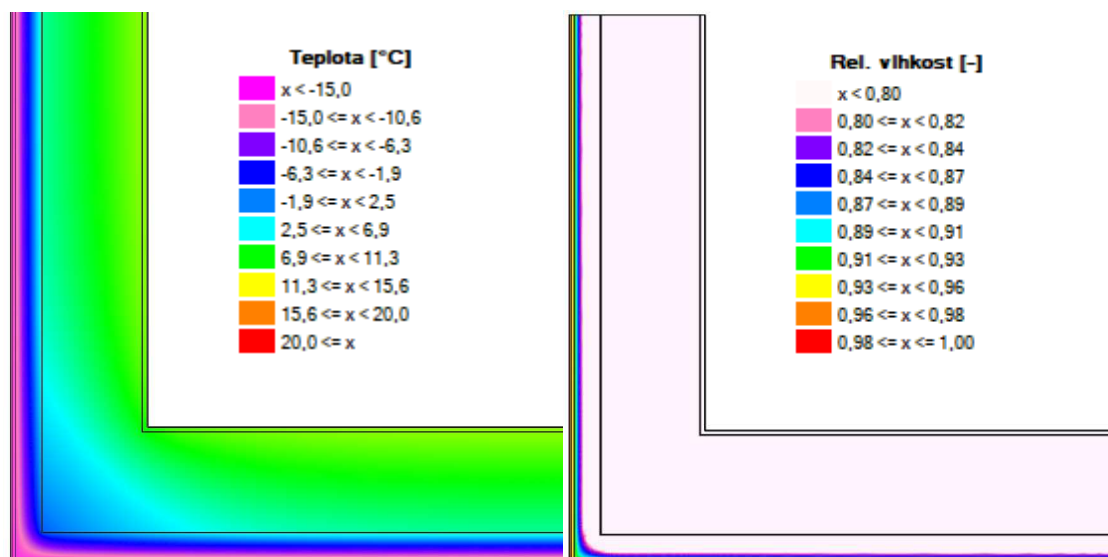
Výsledky



Graf 31 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu koutu v navrhovaném stavu







Graf 32 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu koutu v navrhovaném stavu



Obrázek 84 - teplotní pole a relativní vlhkost detailu zatepleného koutu v době nejnižší vnitřní povrchové teploty v navrhovaném stavu

Tabulka 59 – vyhodnocení detailu koutu v navrhovaném stavu

VELIČINA	VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	0,181 [%]	< 3,0 [%]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	13,9 [°C]	> 5,35 [°C] 	ANO
		> 8,59 [°C] 	ANO
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu	71,4 [%]	< 100 [%] 	ANO
		< 80 [%] 	ANO

Po provedení vnějšího zateplení je detail koutu z hlediska vnitřní povrchové teploty vyhovující i v dynamickém výpočtovém modelu. Oproti výsledkům z výpočtů stěny vnitřní povrchová teplota v koutě poklesne jen o 2,2 °C. Relativní vlhkost na vnitřním povrchu maximálních hodnot dosahuje v létě, v zimě jsou hodnoty na povrchu poměrně nízké. Z tohoto hlediska je detail opět vyhovující.



## Detail soklu

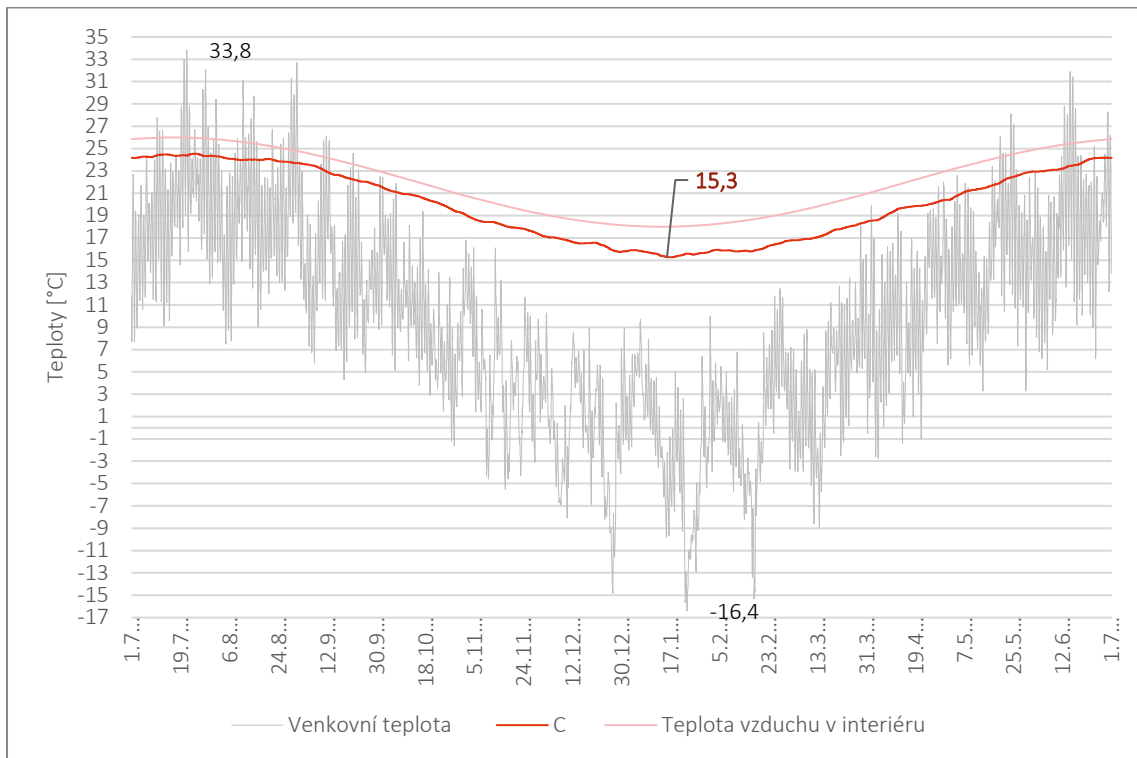
Schéma vnějšího zateplení soklu viz kapitola 3.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail soklu*. V dynamickém výpočtovém modelu je vymodelována pouze jedna varianta zateplení soklu, a to varianta C. V této variantě tepelná izolace soklu probíhá po celé výšce betonového soklu, nad úrovní terénu i pod.

V ustáleném stavu je zřejmé, že varianta A je nevyhovující již při výpočtu pomocí 2D modelu a varianta B je nevyhovující ve 3D modelu. V obou variantách dochází ke kondenzaci vodních par na vnitřním poruchu. Varianta C v ustáleném stavu ve 2D modelu je vyhovující a ve 3D modelu v koutě na minimální ploše by mohlo docházet k tvorbě plísní. S ohledem na to, že nevyhovující plocha je minimální a výpočet neuvažuje se setrvačností zeminy, je velmi pravděpodobné, že je detail ve skutečnosti vyhovující. Přesto je tato skutečnost ve 2D detailu ověřena ve výpočtu pomocí dynamického výpočtového modelu. Porovnání všech metod výpočtů je provedeno v kapitole 3.3. *Vyhodnocení výsledků* podle teplotního faktoru.

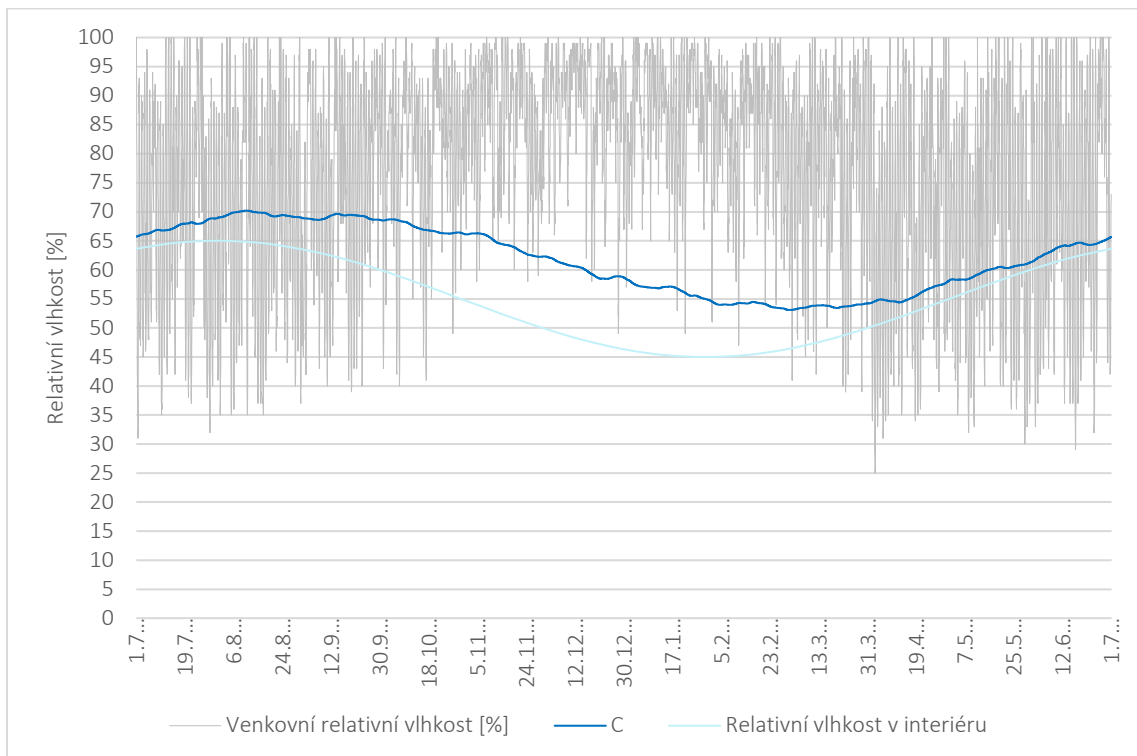




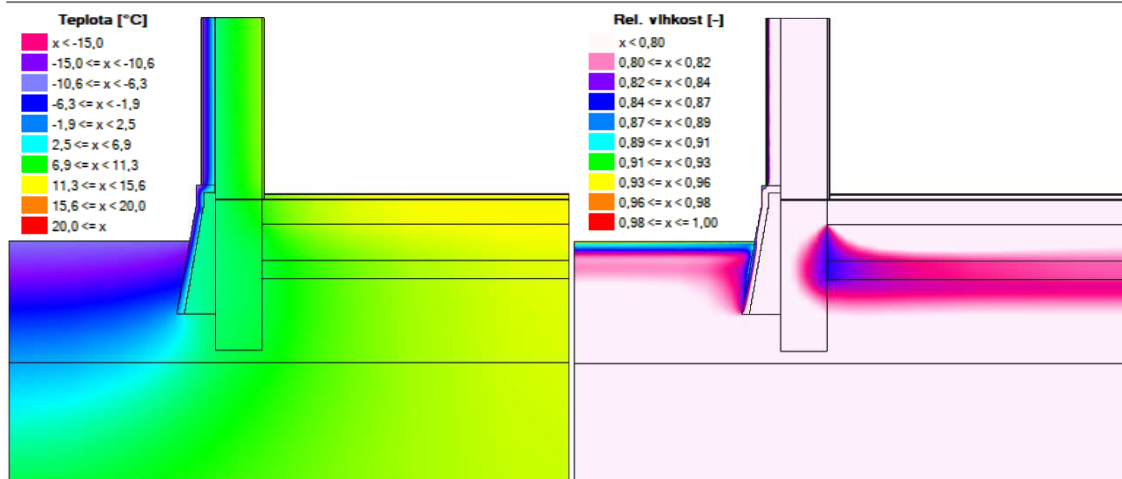
## Výsledky



Graf 33 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu soklu v navrhovaném stavu



Graf 34 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu soklu v navrhovaném stavu



Obrázek 85 - teplotní pole a relativní vlhkosti detailu soklu v navrhovaném stavu v době nejnižší vnitřní povrchové teploty

Tabulka 60 – vyhodnocení detailu soklu v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	C	0,187 [%]	< 3,0 [%]	ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	C	15,3 [°C]	> 5,35 [°C]	ANO
			> 8,59 [°C]	ANO
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu	C	70,2 [%]	< 100 [%]	ANO
			< 80 [%]	ANO

Detail soklu ve variantě zateplení C je v dynamickém výpočtovém modelu vyhovující ve všech ohledech. Vnitřní povrchová teplota oproti teplotě v ploše stěny poklesne pouze o 0,8 °C a oproti vnitřnímu prostředí jen o 2,8 °C. V době nejnižší vnitřní povrchové teploty se relativní vlhkost na vnitřním povrchu pohybuje v rozmezí 55 - 60 %. Nejvyšší relativní vlhkosti podobně jako u předchozích detailů je dosaženo v letním období a nepřesáhne požadovanou hodnotu.



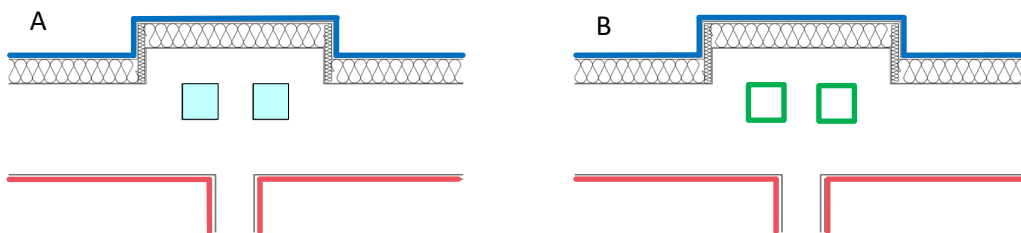
## Detail komína

Schéma vnějšího zateplení obvodové konstrukce a komína viz kapitola 3.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail komína*

Detail zatepleného komínu je modelován podobně jako v ustáleném stavu pomocí dvou variant za předpokladu, že komín je nefunkční. Pomocí výpočtu v neustáleném stavu se ověří, zda komín především ve variantě B je vyhovující. Ve variantě B se v dutině předpokládá venkovní prostředí. Okrajová podmínka je modelována stejně jako ve výpočtu stávajícího stavu.

### Varianty výpočtů:

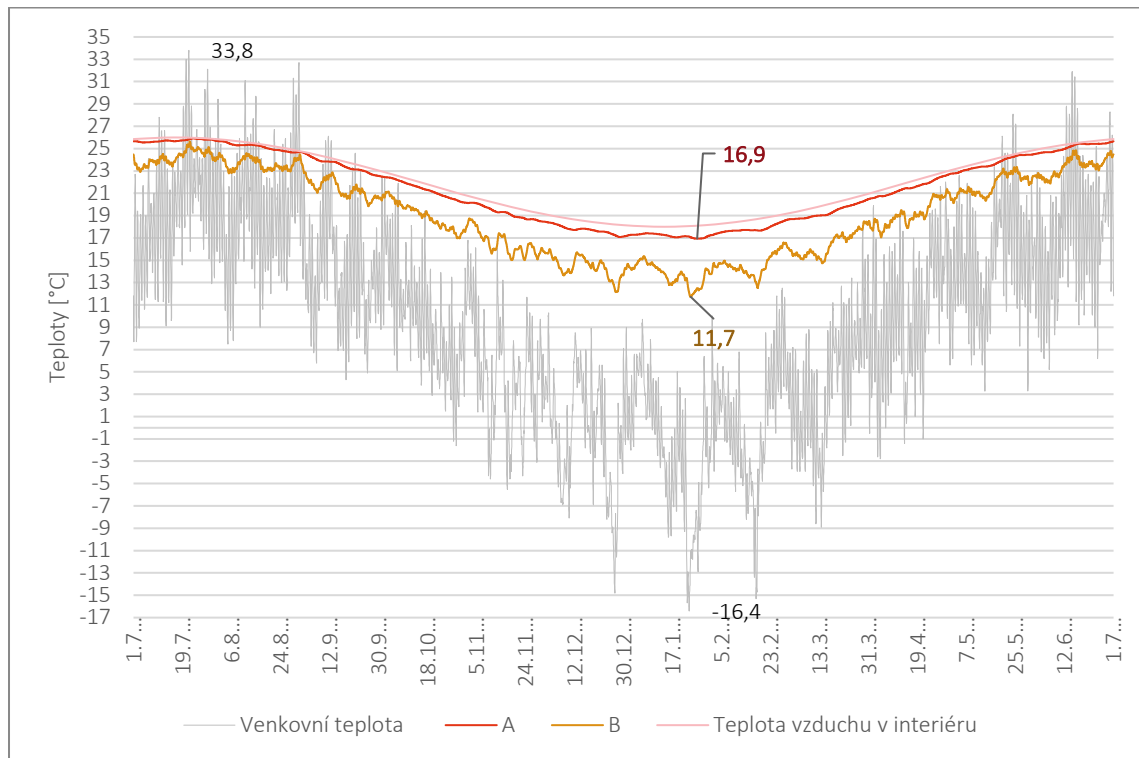
- A. Dutina je simulována pomocí materiálu vzduch
- B. Dutina je simulována okrajovými podmínkami



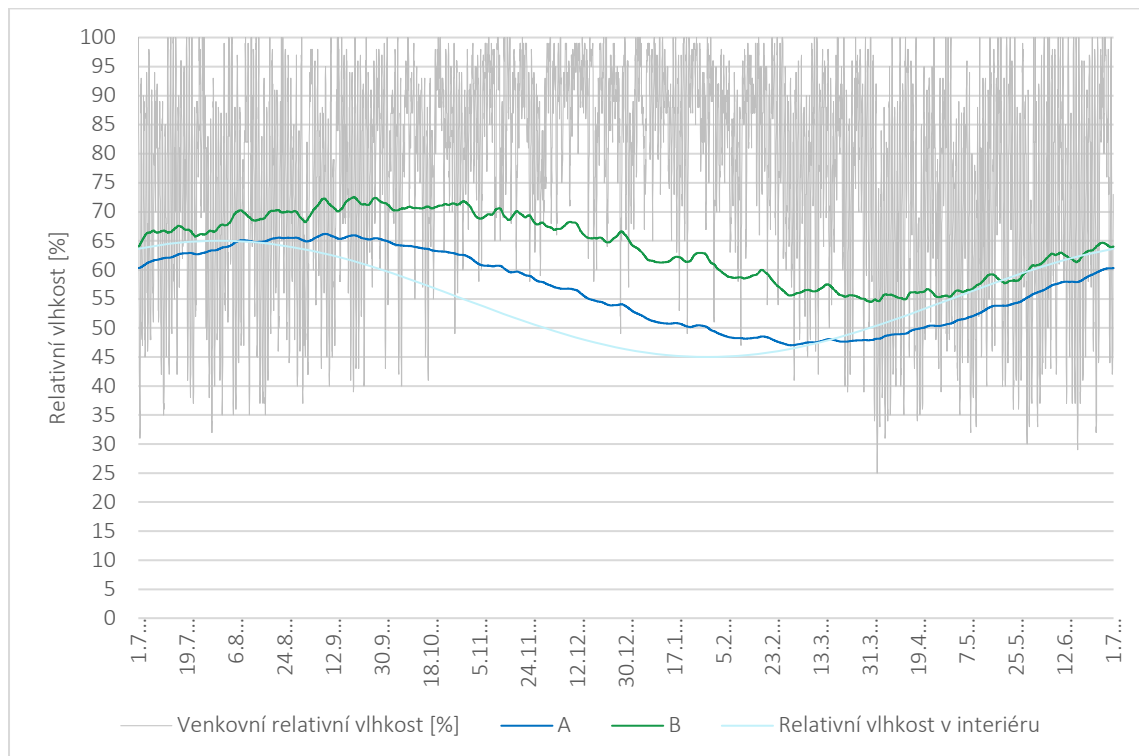
Obrázek 86 - schéma okrajových podmínek detailu komína v navrhovaném stavu



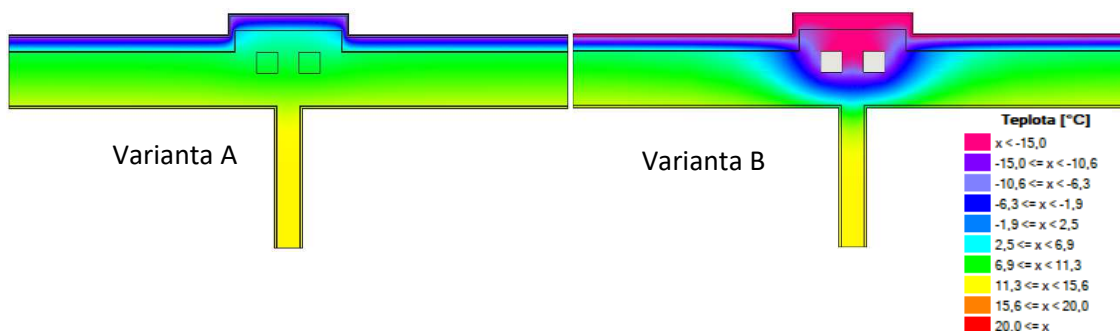
## Výsledky



Graf 35 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu komína v navrhovaném stavu



Graf 36 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu komína v navrhovaném stavu



Obrázek 87 - pole teplot v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína v navrhovaném stavu



Obrázek 88 - průběh relativních vlhkostí v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína v navrhovaném stavu

Tabulka 61 – vyhodnocení detailu komína v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVKY	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	A	0,188 [%]	< 3,0 [%]	ANO
	B	0,383 [%]		ANO
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$ <i>Okrajové podmínky varianta A</i>	A	16,9 [°C]	> 5,35 [°C]	ANO
			> 8,59 [°C]	ANO
	B	11,7 [°C]	> 5,35 [°C]	ANO
			> 8,59 [°C]	ANO
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu <i>Okrajové podmínky varianta A</i>	A	66,2 [%]	< 100 [%]	ANO
			< 80 [%]	ANO
	B	72,6 [%]	< 100 [%]	ANO
			< 80 [%]	ANO

Z výsledku vyplývá, že detail komínu po zateplení je vyhovující v obou variantách výpočtů. Toto ale platí pouze pro zvolené okrajové podmínky. Při změně materiálu nebo především změně vnitřních podmínek detail ve variantě B nemusí být vyhovující. Již při mírném zvýšení relativní vlhkosti vnitřního vzduchu může dojít k překročení požadavku na relativní vlhkost na povrchu, nebo dokonce ke kondenzaci na vnitřním povrchu. Proto je nutné při přestavbě a zateplení zajistit co největší přiblížení se variantě A, kde by nemělo docházet k proudění venkovního vzduchu komínem.



## Detail zhlaví trámu

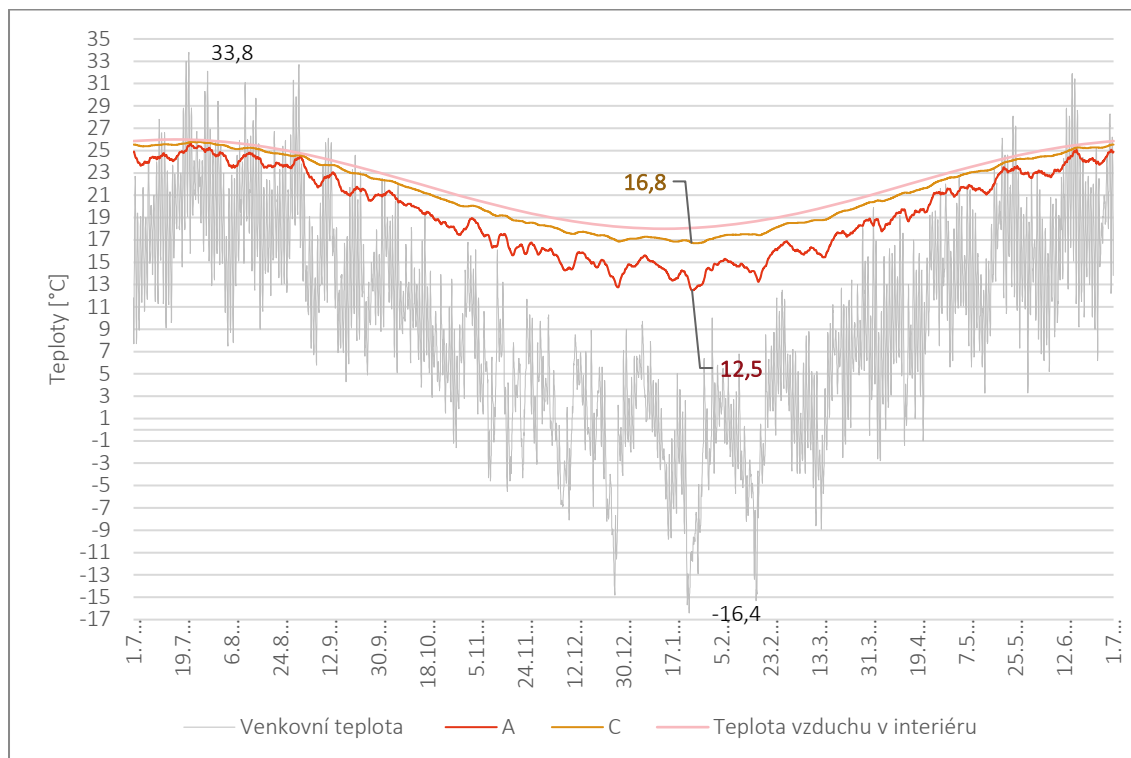
V dynamickém výpočtovém modelu pro detail zhlaví jsou počítány pouze dva z navržených detailů, a to varianta A a varianta C. Varianta B je vynechána z toho důvodu, že je velmi podobná variantě A. Zároveň se jedná o nejsložitěji proveditelnou variantu řešení. Výsledky v ustáleném stavu ukazují, že rozdíl mezi těmito variantami není výrazný.

Varianta A je velmi zajímavým detailem pro výpočet v dynamickém stavu. Jedná se o variantu, která předpokládá pouze zateplení trámové kapsy. Je tedy ověřováno, zda je tato varianta zateplení nevyhovující v dynamickém stavu, podobně jako v ustáleném stavu. Varianta C představuje vnější zateplení budovy a téměř shodné uložení nosných trámů na obvodovou konstrukci. Z výpočtu v ustáleném stavu tato varianta vystupuje jako vyhovující. V dynamickém stavu se tedy pouze ověří vhodnost tohoto řešení. Schémata detailů je možné nalézt v předchozí kapitole 3.1.4. *Výsledky a vyhodnocení – Detail zhlaví trámu.*

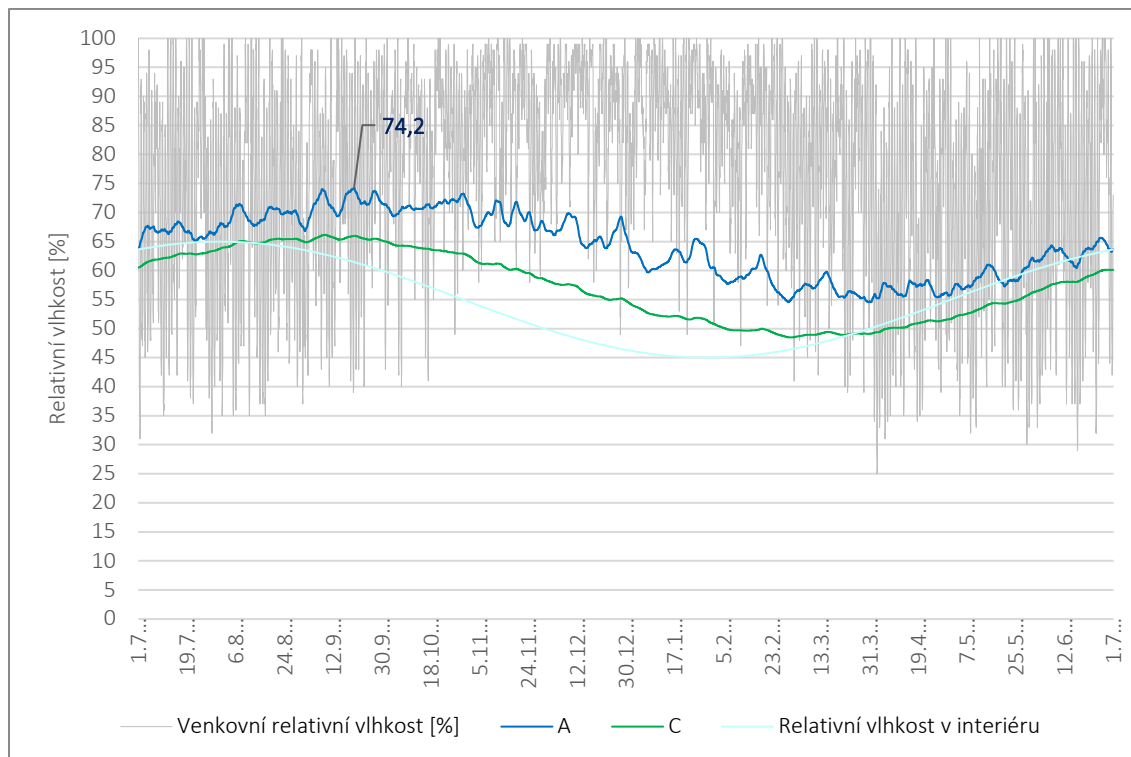
V této metodě výpočtů se opět hodnotí teploty a relativní vlhkosti na vnitřním povrchu detailu a zároveň na zhlaví trámu. Vnitřní povrch i zhlaví trámu jsou posuzovány v podstatě dle stejných kritérií. Relativní vlhkost v obou místech nesmí překročit hranici 80 %. Zároveň teplota na zhlaví trámu nesmí klesnout pod teplotu rosného bodu ani pod teplotu pro riziko tvorby plísní odpovídající vnitřnímu prostředí. Předpokládá se totiž, že vlhkost z vnitřního prostředí se přes netěsnosti může volně dostávat ke zhlaví trámu. Tyto netěsnosti bohužel není možné ve výpočtu zohlednit. K největšímu poklesu teplot dochází při teplotě vnitřního prostředí v dynamickém výpočtovém modelu  $T_i = 18,14$  °C, ve stejný okamžik relativní vlhkost vnitřního vzduchu dosahuje hodnot  $\varphi_i = 46,34$  %. Těmto hodnotám dle normového výpočtu (viz kapitola 2.1.1. *Metody výpočtů*) odpovídá teplota rosného bodu  $T_w = 5,35$  °C a teplota pro riziko tvorby plísní  $T_p = 8,59$  °C. Toto jsou tedy stanovené kritické teploty pro zhlaví trámu, které by neměly být překročeny.



## Výsledky



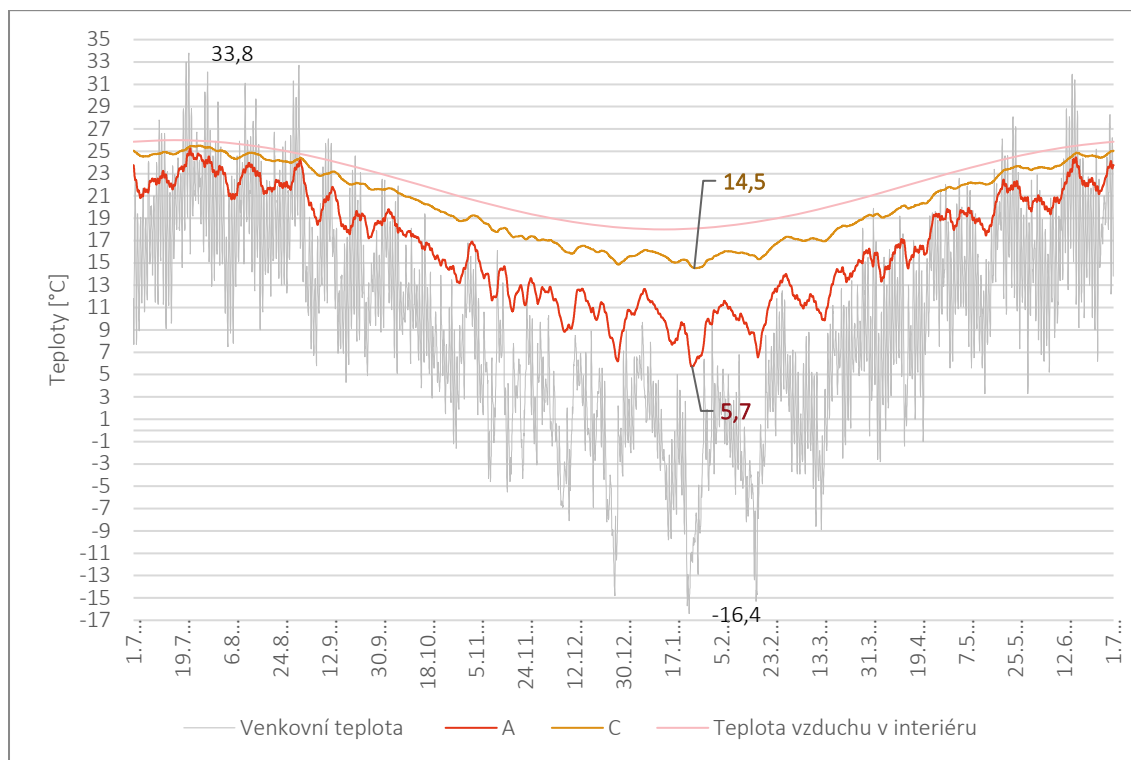
Graf 37 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu zhlaví trámy v navrhovaném stavu



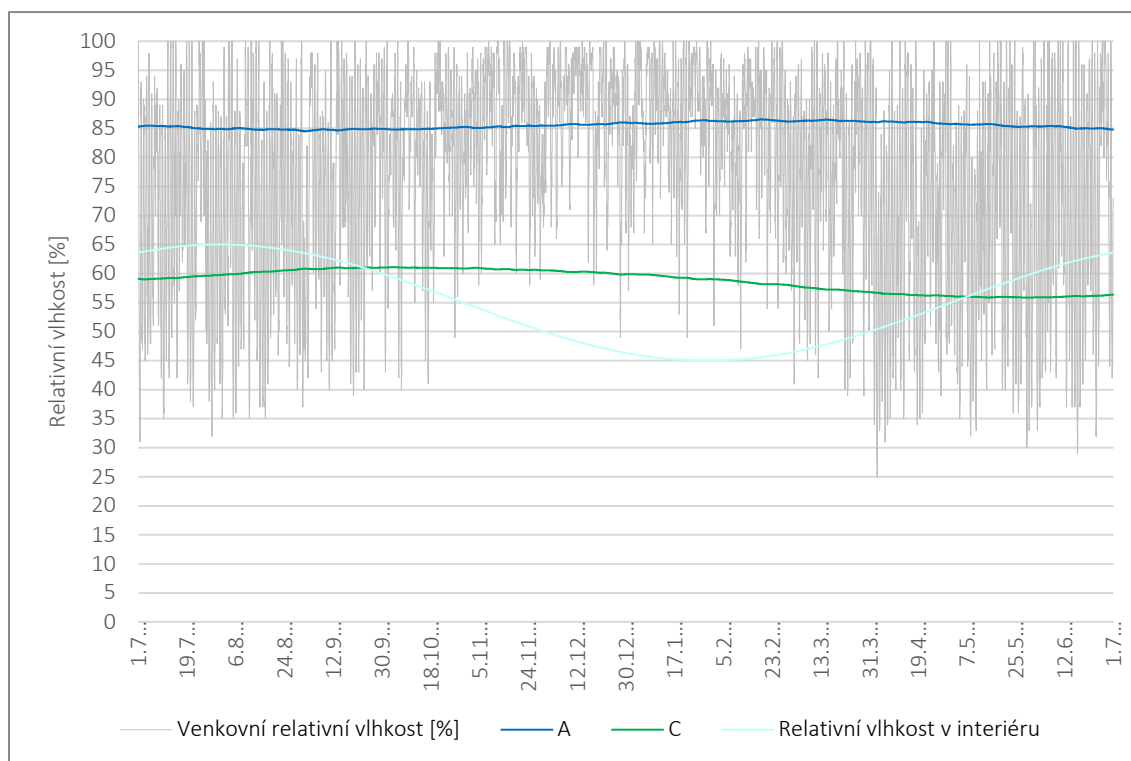
Graf 38 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu zhlaví trámy v navrhovaném stavu

Z grafů pro vnitřní povrch je zřejmé, že z tohoto hlediska jsou obě řešení vhodná. Můžeme ale vidět, že varianta C je lepším řešením.



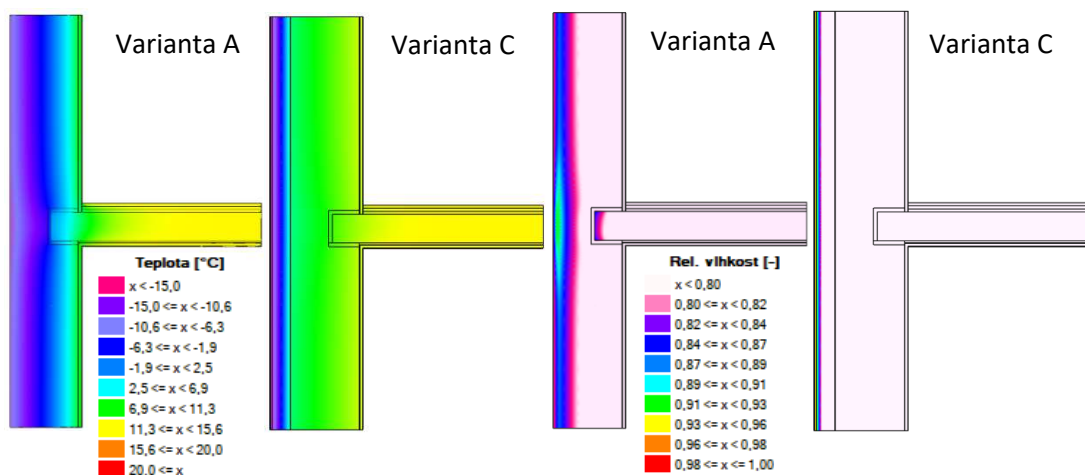


Graf 39 - celoroční průběh teplot na zhlaví zabudovaného trámu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu



Graf 40 - celoroční průběh relativních vlhkostí na zhlaví zabudovaného trámu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu

Z grafů pro zhlaví trámu je zřejmé, že detail A je nevyhovující. Teploty na trámovém zhlaví klesly pod teplotu pro tvorbu plísní. Zhlaví se zároveň nachází po celý modelový rok v relativních vlhkostech 85 % a výše.



Obrázek 89 – teplotní pole a relativní vlhkosti detailu zhlaví trámu v době nejnižší vnitřní povrchové teploty v navrhovaném stavu ve variantách

Tabulka 62 - vyhodnocení hmotnostní vlhkosti materiálu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽADAVEK	VYHOVUJE
Maximální hmotnostní vlhkost zdiva	A	0,7 [%]	< 3,0 [%]	ANO
	C	0,2 [%]		ANO
Maximální hmotnostní vlhkost dřevěných prvků	A	18,3[%]	< 18,0 [%]	NE
	C	12,3 [%]		ANO

Tabulka 63 - vyhodnocení tvorby plísní a kondenzace vodních par detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu

VELIČINA		VÝSLEDKY	POŽAD.	VYHOVUJE	POŽAD.	VYHOVUJE
Vnitřní povrchová teplota $T_{si,p}$	A	12,5 [°C]	plísňe > 8,59 [°C]	ANO	kondenzace > 5,35 [°C]	ANO
	C	16,7 [°C]		ANO		ANO
Teplota zhlaví trámu	A	5,7 [°C]		NE		ANO
	C	14,5 [°C]		ANO		ANO
Relativní vlhkost na vnitřním povrchu	A	74,2 [%]	<80 [%]	ANO	< 100 [%]	ANO
	C	66,1 [%]		ANO		ANO
Relativní vlhkost na zhlaví trámu	A	86,6 [%]		NE		ANO
	C	61,1 [%]		ANO		ANO

Z obrázků průběhu teplot a relativních vlhkostí v konstrukci a z tabulek je jasné, že varianta A je zřejmě nevyhovující. Teploty na zhlaví trámu jsou nižší, než je stanovené kritérium pro tvorbu plísní, současně se velice blíží teplotě rosného bodu. Dle vyhodnocení hmotnostní vlhkosti trámu je varianta A také nevyhovující z důvodu překročení maximální povolené vlhkosti. Zhlaví trámu se tedy nachází v nevhodném prostředí, které by mohlo způsobit jeho degradaci. Z toho důvodu je varianta A vyhodnocena jako nevyhovující. Varianta C se jeví jako vyhovující ze všech hledisek.



### 3.2.5. Souhrn výsledků

Tabulka 64 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů dle vypočtených povrchových teplot v dynamickém výpočtovém modelu

DETAIL		Minimální hodnoty	POŽ.	VYH.	POŽ.	VYH.	
STĚNA	Vnější	16,1 [°C]	> 8,59 [°C]	ANO	> 5,35 [°C]	ANO	
	Vnitřní	13,9 [°C]		ANO		ANO	
KOUT		13,9 [°C]		ANO		ANO	
SOKL	C	15,3 [°C]		ANO		ANO	
KOMÍN	A	16,9 [°C]		ANO		ANO	
	B	11,7 [°C]		ANO		ANO	
TRÁM	A	P		12,5 [°C]		ANO	ANO
		Z		5,7 [°C]		NE	ANO
	C	P		16,7 [°C]		ANO	ANO
		Z		14,5 [°C]		ANO	ANO

A,B = varianty výpočtů, P = vnitřní povrch konstrukce detailu, Z = zhlaví trámu

Tabulka 65 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů dle vypočtených relativních vlhkostí v dynamickém výpočtovém modelu

DETAIL		Maximální hodnoty [%]	POŽ.	VYH.	Roční doba překročení [h]	POŽ.	VYH.	
STĚNA	Vnější	67,0 [%]	< 80 %	ANO	0	< 100 %	ANO	
	Vnitřní	71,3 [%]		ANO	0		ANO	
KOUT		71,4 [%]		ANO	0		ANO	
SOKL	C	70,2 [%]		ANO	0		ANO	
KOMÍN	A	66,2 [%]		ANO	0		ANO	
	B	79,2 [%]		ANO	0		ANO	
TRÁM	A	P		74,2 [%]	ANO		0	ANO
		Z		86,6 [%]	NE		8760	ANO
	C	P		66,1 [%]	ANO		0	ANO
		Z		61,1 [%]	ANO		0	ANO

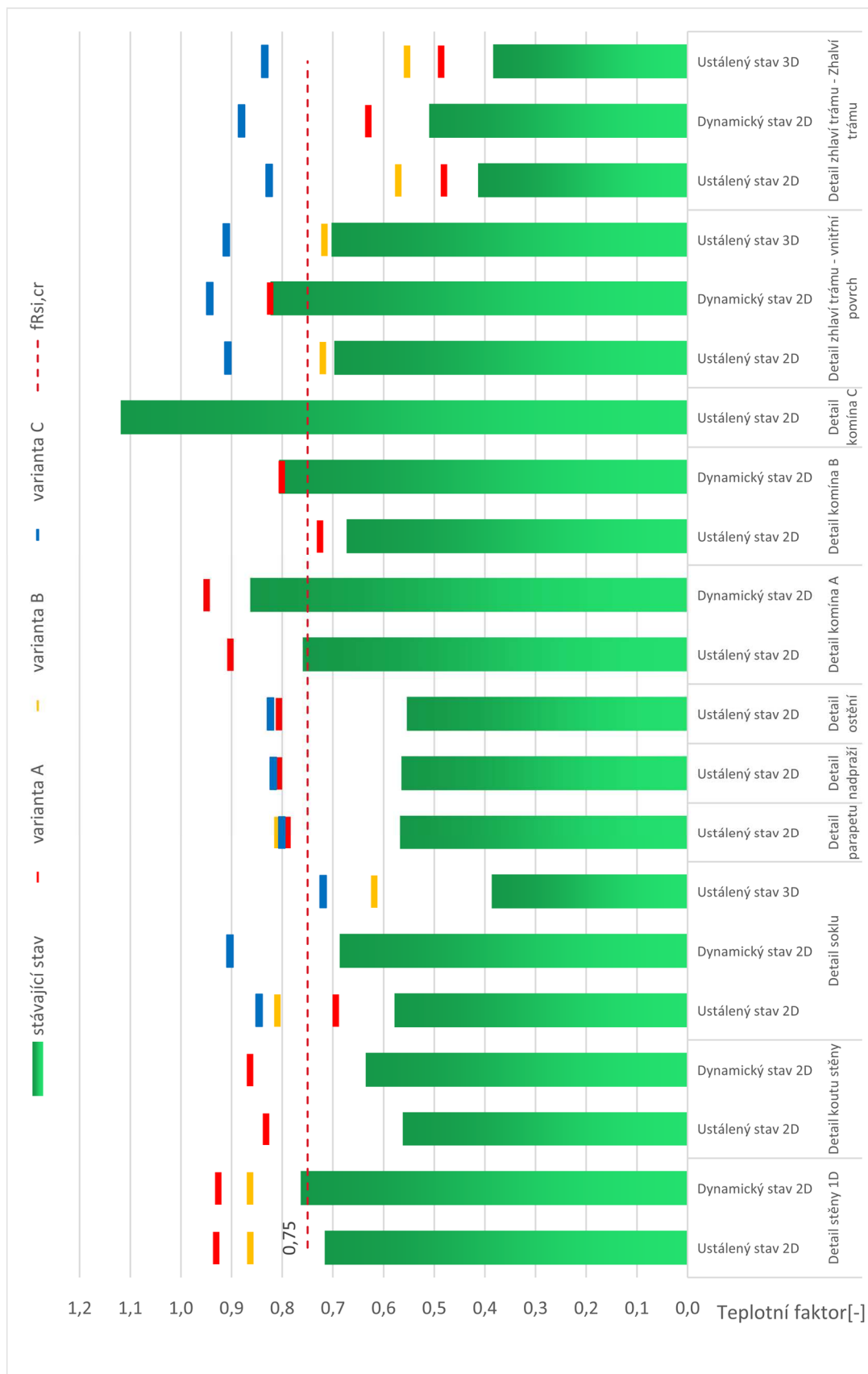
A,B = varianty výpočtů, P = vnitřní povrch konstrukce detailu, Z = zhlaví trámu

Z tabulky souhrnných výsledků je patrné, že téměř všechny navrhované varianty počítané v dynamickém výpočtovém modelu jsou vyhovující. Jako nevyhovující se jeví pouze varianta A pro zateplení zhlaví trámu. Je zde překročena požadovaná relativní vlhkost pro zamezení rizika vzniku plísní na zhlaví trámu. Tím je současně překročeno maximální povolené množství vlhkosti v dřevěné konstrukci. Detail je nevyhovující po dobu celého modelového roku.

Z důvodu vysoké nejistoty vstupních údajů, především vnitřní okrajové podmínky, je možné, že detail komína ve variantě B by mohl být nevyhovující. Hodnota maximální relativní vlhkosti na vnitřním povrchu téměř hraničí s požadovanou hodnotou. Dá se tedy říct, že pokud se relativní vlhkost vnitřního prostředí nepatrně zvýší oproti simulovaným vlhkostem, může v tomto detailu nastat riziko vzniku plísní.



### 3.3. Vyhodnocení výsledků



Graf 41 - vyhodnocení návrhů stavebně technického řešení všech detailů



Porovnání všech výsledků z ustáleného a dynamického výpočtového modelu je provedeno pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu  $f_{Rsi}$ . Jedná se o bezrozměrnou hodnotu, která vyjadřuje vlastnost detailu.

Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu pro stávající stav konstrukce je stanoven hodnotou  $f_{Rsi} = 0,754$  a pro navrhovaný stav konstrukce je stanoven hodnotou  $f_{Rsi} = 0,747$ . V grafickém vyhodnocení všech výsledků jsou tyto hodnoty zaokrouhleny na dvě desetinná místa, a to na hodnotu  $f_{Rsi} = 0,75$ .

V grafu vyhodnocení návrhů stavebně technického řešení detailů jsou vyznačeny všechny řešené detaily včetně metod výpočtů a původního stavu detailů. Téměř vždy je výsledek z dynamického výpočtového modelu příznivější než v ustáleném stavu.

### 3.4. Dílčí závěr

Pomocí ustáleného a dynamického výpočtového modelu je nejprve zvolena nejvhodnější varianta zateplení řešeného objektu. Vnitřní zateplení sice umožňuje zachovat vnější fasádu a všechny její prvky v původním stavu, ale není vyhodnocena jako nejvhodnější pro zateplení řešené budovy. Památková péče pro řešený domek povoluje vnější zateplení při dodržení stanovených zásad. Na základě provedených výpočtů a porovnání vhodností jednotlivých druhů zateplení je vybrána varianta s vnějším zateplením.

Pro každý řešený detail jsou navrženy až tři varianty zateplení. V některých případech se jedná o různé konstrukční řešení, jinde zas o různé materiálové řešení. Pro každý detail se i přes omezení ze strany památkové péče podařilo nalézt alespoň jedno vhodné řešení.

Navržená řešení jednotlivých detailů je možné aplikovat nejen při přestavbě řešeného typu Baťovského půldomku, ale i pro další typy Baťovských domků podobných tomuto.



## 4. Závěr

Diplomová práce se zabývá památkově chráněným dvojdomkem z 20. stol., nacházejícím se ve Zlíně. Tento typ domku je známý jako Baťovský půldomek. Řešená budova je specifická tím, že na přestavbu a zateplení jsou kladeny požadavky památkové ochrany. Největší důraz se klade na co nejvěrnější zachování původního vzhledu budovy. Především tedy na fasádu, velikost a členění okenních otvorů a zachování poměrů viditelných hran. Musí se také zachovat všechny charakteristické prvky na fasádě. Detaily jsou vybírány s ohledem na návaznost fasády. Bohužel z časových důvodů nebylo možné řešit více detailů.

Vyhodnocení detailů probíhá ve stacionárním výpočtovém modelu (Svoboda software), některé vybrané detaily v nestacionárním výpočtovém modelu (WUFI® software). Obě metody výpočtů jsou zvoleny z důvodu porovnání výsledků z výpočtů. Výpočty v ustáleném stavu jsou více teoretické a nezahrnují všechny vlastnosti materiálu a venkovní vlivy. V řešeném typu budovy, kde je zdivo vystaveno vnějším vlivům bez jakékoli ochrany, se přepokládá vliv deště a dalších materiálových vlastností závislých na čase. Tyto vlivy se mohou projevit na teplotním poli, na vnitřní povrchové teplotě nebo také na celkovém vlhkostním stavu konstrukce. Tyto jevy lze zohlednit pouze v neustáleném stavu. Pokud tedy výsledky výpočtu pomocí dynamického výpočtového modelu splňují požadavky, je detail vyhovující i přes to, že v ustáleném stavu požadavky splněny nejsou. Normou ČSN 73 0540-2 je totiž povoleno použití pokročilejší metody výpočtů dle normy ČSN EN 15026 k posouzení stavebních konstrukcí v dynamickém výpočtovém modelu.

Nejprve se práce zaměřuje na zjištění, v jakém stavu je stávající budova. Je zjišťováno, zda konstrukce ve stávajícím stavu splňuje požadavky dle normy ČSN 73 0540-2. U všech řešených detailů se hodnotí vnitřní povrchová teplota, kondenzace vodních par uvnitř konstrukce a tepelný tok skrz detail. Jak je předpokládáno, konstrukční řešení ve stávajícím stavu je nevyhovující a budova je zatížena rizikem tvorby plísně, případně kondenzací na vnitřním povrchu z důvodu nízkých povrchových teplot. Téměř všechny zkoumané detaily se dle vyhodnocení se jeví jako nevyhovující dle obou výpočtových metod. Je tedy navrženo stavebně technické řešení obvodového pláště. Jsou provedeny návrhy řešení detailů ve variantách.

Pomocí ustáleného a dynamického výpočtového modelu je nejprve zvolena nejvhodnější varianta zateplení řešeného objektu. Vnitřní zateplení sice umožňuje zachovat vnější fasádu a všechny její prvky v původním stavu, ale není vyhodnocena jako nejvhodnější pro zateplení řešené budovy. Památková péče pro řešený domek povoluje vnější zateplení při dodržení stanovených zásad. Na základě provedených výpočtů a porovnání vhodnosti jednotlivých druhů zateplení je vybrána varianta s vnějším zateplením.

Pro každý řešený detail jsou navrženy až tři varianty zateplení. V některých případech se jedná o různé konstrukční řešení, jinde zas o různé materiálové řešení (např. detaily oken). Pro každý detail se i přes omezení ze strany památkové péče podařilo nalézt alespoň jedno vhodné řešení. Všechny řešené detaily po zateplení vykazují alespoň v jedné navržené variantě požadované hodnoty vnitřní povrchové teploty, lineárního činitele prostupu tepla a je zamezeno kondenzaci vodních par uvnitř konstrukce.



Výpočty v ustáleném stavu jsou výrazně jednodušší než výpočty v dynamickém výpočtovém modelu. Zároveň se jedná o velmi rychlou metodu vyhodnocení detailu. Pro posouzení detailů v ustáleném stavu jsou k dispozici tuzemské softwary, které jsou schopné výsledky výpočtu rovnou vyhodnotit dle platných norem.

Z výsledků je zřejmé, že výpočty v dynamickém výpočtovém modelu vykazují téměř vždy příznivější výsledky hodnocených detailů nežli v ustáleném stavu. Tato metoda výpočtu je mnohem sofistikovanější. Pro výpočet detailů pomocí této metody je nutné sáhnout po zahraničních softwarech. V této diplomové práci jsou použité softwary vyvinuté v německém výzkumném ústavu Fraunhofer Institute for building physics (WUFI® software). Tato metoda by měla poskytnout realistickou simulaci tepelně vlhkostních podmínek ve stavebních detailech. Dynamický model je schopen simulovat reálné chování konstrukce a umožňuje postihnout více fyzikálních jevů, které mohou ovlivnit jak šíření tepla, tak i vlhkosti v konstrukci. Pomocí tohoto modelu lze stanovit teplotu a relativní vlhkost v konkrétním bodě ve vybraném čase. Použití těchto softwarů a metod výpočtů vyžaduje dobré znalosti v oblasti stavební fyziky. Výsledky výpočtů jsou velice citlivé na vstupní údaje, kterých v případě dynamického výpočtového modelu je mnoho. Požadavky na hardware jsou vyšší než pro softwary počítající v ustáleném stavu. Provádění výpočtů je také časově velmi náročné. Při úspěšném nastavení všech výpočtových parametrů a absenci možných výpočtových chyb je průměrná doba výpočtu 3 – 12 hodin.

Pro vyhodnocení detailů je tedy nutné zvážit, jaký výpočtový model je pro danou situaci nejhodnější. Zda postačí pouze zjednodušené postupy podle norem pro tepelně vlhkostní hodnocení stavebních konstrukcí. Nebo jestli je nutné použít přesnější metodu pro hodnocení šíření tepla a vlhkosti stavebními konstrukcemi. V některých případech může tato metoda pomoci prokázat, že detail je reálně vyhovující oproti výpočtům v ustáleném stavu.

V provedených výpočtech je velmi vysoká nejistota vstupních údajů. Pro přesnější simulaci stávajícího stavu je nejlepší mít odebrané vzorky a provedené zkoušky materiálů. Bohužel tyto úkony nejsou v této diplomové práci provedeny. Důvodem je časová náročnost provedení zkoušek a odběrů. I z toho důvodů, že řešená budova se nachází na opačné straně republiky. Zároveň se jedná o úkon, který je mimo rozsah práce. Proto materiálové vstupy jsou odhadovány na základě zkušeností. Z toho důvodu výsledky výpočtů, především ve stávajícím stavu, mohou vykazovat určitou míru nejistoty. Další nejistotu do výpočtu vnáší odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce. Ve výpočtech pro účel ověření normového požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu konstrukce stanoven hodnotou 0,25 [m<sup>2</sup>K/W] dle tabulky J.1 z normy ČSN 730540-3. Ve skutečnosti hodnota odporu při přestupu tepla může být mnohem vyšší v důsledku přistavěného nábytku. Následkem zvýšeného odporu při přestupu je pokles vnitřní povrchové teploty. Přistavění nábytku k obvodové konstrukci především v místech kritických detailů (detail soklu 3D) může ovlivnit vnitřní povrchovou teplotu konstrukce na tolik, že teplota poklesne pod požadovanou teplotu nebo dokonce pod teplotu rosného bodu. Detaily vyhovující dle výpočtů tedy ve skutečnosti mohou být zatíženy rizikem tvorby plísní nebo dokonce kondenzací vodních par na vnitřním povrchu.





### **Doporučení pro další výzkum:**

Při řešení diplomové práce jsou zjištěny skutečnosti, které je možné dále zkoumat. Na Baťovských domcích se nachází další zajímavé, pro tyto domy typické, detaily. Dále je také možné zkoumat detaily napojení nových přístaveb u objektů, kde jsou přístavby povoleny.

Dále je možno vyhodnotit riziko růstů plísní na vnitřním povrchu přesněji pomocí dynamických modelu vedoucích k předpovědi růstu plísní. Růst plísní je nejen estetickým problémem ale i významným zdravotním rizikem pro lidi. Existují metody, které pomocí vypočtených nebo naměřených okrajových podmínek stanoví, zda může k růstům plísní docházet. Nejdůležitějšími podmínkami je teplota, relativní vlhkost a materiál hodnoceného povrchu.

Pro snížení nejistoty vstupních údajů a výsledků na ně navazujících je nutné zpřesnění vstupních údajů. Nejprve je nutné provést zpřesněné materiálových charakteristik pomocí odběru materiálových vzorků a jejich zkoušek. Dále je vhodné provést měření teplot a relativních vlhkostí vnitřního prostředí v užívaném domě. Tím se stanoví přesně vnitřní okrajová podmínka. Je vhodné také provést průzkum, zda v budovách podobného typu skutečně dochází k tvorbě plísní nebo kondenzaci vodních par.

Po upřesnění všech materiálových charakteristik a okrajových podmínek je vhodné provést dlouhodobé měření teplot a relativních vlhkostí na řešených detailech. Současně je vhodné provést měření klimatických podmínek v okolí řešené budovy. Výsledky měření je možné následně použít pro kalibraci dynamického výpočtového modelu.

Je možné provést zpřesnění hodnoty odporu na přestupu tepla pomocí měření a výpočtů dle normy ČSN EN ISO 6946. Pro stanovení reálnějších vnitřních povrchových teplot je možné tuto hodnotu stanovit pro více situací tedy bez přítomnosti nábytku a s nábytkem stojícím při vnitřní straně detailu. Následně je možné stanovit nejnepříznivější hodnotu vnitřní povrchové teploty konstrukce, která může nastat po přistavení nábytku ke kritickým detailům.



## Bibliografie

- [1] Zlín: Baťova éra. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2020-09-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zl%C3%ADn>
- [2] HUBÁČEK, J. *Od starého Zlína k socialistickému Gottwaldovu: (vývoj starého Zlína a vliv industrialisace na půdorys Gottwaldova)*. V Gottwaldově: Krajské museum, 1956. Studie Krajského musea v Gottwaldově.
- [3] *Tomáš Baťa; Jan Antonín Baťa: Z myšlenek Tomáše Bati o budování továrny a města* [online]. [cit. 2020-09-27]. Dostupné z: <https://zlin.estranky.cz/clanky/tomas-bata--jan-antonin-bata/z-myslenek-tomase-bati-o-budovani-tovarny-a-mesta.html>
- [4] SEDLÁK, Jan. *Zlínský funkcionalismus: Funktionalismus von Zlín*. Zlín: Státní galerie, 1993. ISBN 80-85052-17-2.
- [5] VACKOVÁ, Barbora, Klára ELIÁŠOVÁ, REUSS BŘEZOVSKÁ MARKÉTA a Jitka RESSOVÁ. *Baťovský domek: mizející prvky zlínské architektury*. 1. vydání. Přeložil Alena VŠETEČKOVÁ. Brno: Masarykova univerzita, 2017. ISBN 978-80-2108667-8.
- [6] TUČEK, Ivo a Kateřina PEŠATOVÁ. *Zálešnou pro život, život pro Zálešnou: souhrn podkladů pro regulační plány baťovských čtvrtí - pilotní projekt Zálešná*. 1. vydání. Zlín: Statutární město Zlín, 2016. ISBN 978-80-87766-05-7.
- [7] *Hlavní zásady památkové péče pro typové rodinné domky na území Městské památkové zóny Zlín: Letná, Nad Ovčírnou, Lesní čtvrť, Díly - mezi tř. T. Bati a ul. Štefánikova, Podvesná a Zálešná*. In: . Zlín: Odbor kultury a památkové péče Magistrátu města Zlína, říjen 2018.
- [8] *Www.nahlizenidokn.cuzk.cz* [online]. [cit. 2020-08-28].
- [9] *Www.mapy.cz* [online]. [cit. 2020-08-28].
- [10] BABIC, Michal. *PASPORT DOMU č. p. 1131. Nad Ovčírnou II/1295, 760 01 Zlín*: ellement architects s.r.o., 2020.
- [11] *ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] *ČSN EN ISO 10211: Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [13] *Lineární činitel prostupu tepla* [online]. In: . s. 6 [cit. 2020-12-03]. Dostupné z: [http://kps.fsv.cvut.cz/file\\_download.php?fid=7908](http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=7908)



- [14] ČSN EN ISO 6946: *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [15] SLANINA, Petr. *WUFI a normy v ČR* [online]. Dostupné také z: [http://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?f=17&t=371&fbclid=IwAR3S\\_zmAVwtXgTzZ3B77XGybEINITaiUnZRwVChbMgwGLigwFzF85JWFi58](http://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?f=17&t=371&fbclid=IwAR3S_zmAVwtXgTzZ3B77XGybEINITaiUnZRwVChbMgwGLigwFzF85JWFi58)
- [16] ČSN P 73 0610 (730610): *Hydroizolace staveb – Sanace vlhkého zdiva – Základní ustanovení*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [17] *Slavona* [online]. Slavonice, 2020 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/eurookna/#specifikace>
- [18] *Bezbarvý hydrofobní nátěr na bázi silanů a siloxanů ve vodní emulzi* [online]. OLOMOUC: MAPEI s.r.o. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: [http://bairo.cz/bl/antipluviol\\_w.pdf](http://bairo.cz/bl/antipluviol_w.pdf)
- [19] *NĚCO MÁLO O VZHLEDU OKEN* [online]. [cit. 2020-10-08]. Dostupné z: <http://www.chciprojekt domu.cz/stavebni-povoleni/19-neco-malo-o-vzhledu-oken>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Zálešná v roce 1932 - 33. Stojíme nad Zálešnou VIII., vlevo částečně skryta za stromem „devítka“. Část u řeky ještě nedostavěna, v pozadí Podvesná a Díly. [3].....	9
Obrázek 2 – tzv. vídeňská mřížka [19].....	13
Obrázek 3 - poloha objektu ve městě Zlín [9] .....	15
Obrázek 4 - poloha objektu na katastrální mapě [8] .....	15
Obrázek 5 - regulační plán obytné zóny Zálešná [7] .....	16
Obrázek 6 – foto severní fasády budovy z osobní prohlídky dne 23.6.2020 .....	17
Obrázek 7 - půdorys 1.NP řešeného dvojdomku [10].....	18
Obrázek 8 - půdorys 2.NP řešeného dvojdomku [10].....	19
Obrázek 9 - řez 1-1? řešeným objektem [10].....	20
Obrázek 10 - řez 2-2? řešeným objektem [10].....	20
Obrázek 11 – stávající skladby konstrukcí řešeného objektu [10].....	21
Obrázek 12 – schéma se znázorněním řešených detailů .....	22
Obrázek 13 - vzorový model atiky [13] .....	26
Obrázek 14 - vzorový model soklu [13].....	27
Obrázek 15 - skladba stávající obvodové stěny .....	31
Obrázek 16 - detail koutu obvodové stěny stávající stav.....	33
Obrázek 17 - průběh izoterm a oblast kondenzace detailu koutu ve stávajícím stavu .....	33
Obrázek 18 - roční bilance vlhkosti detailu koutu ve stávajícím stavu .....	34
Obrázek 19 – schéma detailu soklu ve stávajícím stavu .....	35
Obrázek 20 - 2D teplotní pole a izotermy detailu soklu ve stávajícím stavu .....	36
Obrázek 21 - 3D teplotní pole a izotermy detailu soklu ve stávajícím stavu .....	36
Obrázek 22 - relativní vlhkosti 3D detailu soklu ve stávajícím stavu .....	37
Obrázek 23 – schéma detailu parapetu ve stávajícím stavu.....	38
Obrázek 24 - 2D teplotní pole a izotermy detailu parapetu ve stávajícím stavu.....	39
Obrázek 25 - schéma detailu nadpraží ve stávajícím stavu .....	40
Obrázek 26 - pole teplot a izotermy detailu nadpraží ve stávajícím stavu .....	41
Obrázek 27 - schéma detailu ostění ve stávajícím stavu .....	42
Obrázek 28 - 2D teplotní pole detailu ostění ve stávajícím stavu.....	43
Obrázek 29 - izotermy detailu ostění ve stávajícím stavu.....	43
Obrázek 30 - schéma detailu komína ve stávajícím stavu .....	44
Obrázek 31 – foto severní fasády budovy z osobní prohlídky dne 23.6.2020 s vyznačením revizních dvířek .....	44
Obrázek 32 - schéma okrajových podmínek detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách	45
Obrázek 33 - teplotní pole detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách .....	45
Obrázek 34 - izotermy detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách.....	46
Obrázek 35 - schéma detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....	47
Obrázek 36 - schéma podélného řezu detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....	47
Obrázek 37 - 2D teplotní pole, izotermy a relativní vlhkosti detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu.....	49
Obrázek 38 - 2D teplotní pole, izotermy a relativní vlhkosti detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu – řez středem trámu.....	49



Obrázek 39 - skladba obvodové stěny ve stávajícím stavu .....	57
Obrázek 40 - průběhy teplot a relativních vlhkostí konstrukcí po celé období výpočtu skladby stěny ve stávajícím stavu .....	59
Obrázek 41 - hmotnostní vlhkost v [kg/m <sup>3</sup> ] a v [%] v době nejnižší vnitřní povrchové teploty na detailu koutu stěny ve stávajícím stavu .....	66
Obrázek 42 - průběh relativních vlhkostí a pole teplot v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu soklu ve stávajícím stavu.....	68
Obrázek 43 - schéma okrajových podmínek detailu komína ve stávajícím stavu ve variantách	69
Obrázek 44 - pole teplot v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína ve stávajícím stavu .....	71
Obrázek 45 - průběh relativních vlhkostí v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína .....	71
Obrázek 46 - průběh relativních vlhkostí a teplotní pole v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....	73
Obrázek 47 – návrh skladby obvodové konstrukce s vnějším zateplením.....	80
Obrázek 48– návrh skladby obvodové konstrukce s vnitřním zateplením .....	82
Obrázek 49 - schéma detailu koutu v navrhovaném stavu.....	84
Obrázek 50 - teplotní pole a izotermy detailu koutu v navrhovaném stavu .....	85
Obrázek 51 - foto částečně zatepleného Baťovského domku ve Zlíně z osobní prohlídky dne 23.6.2020 .....	86
Obrázek 52 – schéma detailu soklu - varianta zateplení A .....	87
Obrázek 53 – schéma detailu soklu - varianta zateplení B .....	87
Obrázek 54 – schéma detailu soklu - varianta zateplení C .....	88
Obrázek 55 - teplotní pole a izotermy navrhovaného zateplení soklu varianta A.....	89
Obrázek 56 - teplotní pole a izotermy navrhovaného zateplení soklu varianta B.....	89
Obrázek 57 - teplotní pole a izotermy navrhovaného zateplení soklu varianta C.....	89
Obrázek 58 - teplotní pole zatepleného soklu 3D ve variantách .....	90
Obrázek 59 - izotermy zatepleného soklu 3D ve variantách.....	90
Obrázek 60 - schéma detailu parapetu - varianta A .....	92
Obrázek 61 - schéma detailu parapetu - varianta B.....	92
Obrázek 62 - schéma detailu parapetu - varianta C.....	92
Obrázek 63 - model pro výpočet součinitele tepelné vodivosti vzduchových dutin v okenním rámu .....	93
Obrázek 64 - teplotní pole detailu parapetu v navrhovaném stavu ve variantách .....	95
Obrázek 65 – izotermy detailu parapetu v navrhovaném stavu ve variantách .....	95
Obrázek 66 – schéma detailu zateplení nadpraží .....	98
Obrázek 67 - teplotní pole detailu nadpraží v navrhovaném stavu ve variantách .....	100
Obrázek 68 - izotermy detailu nadpraží v navrhovaném stavu ve variantách.....	100
Obrázek 69 – schéma detailu zateplení ostění .....	103
Obrázek 70 - teplotní pole detailu ostění v navrhovaném stavu ve variantách .....	105
Obrázek 71 - izotermy detailu ostění v navrhovaném stavu ve variantách.....	105
Obrázek 72 - schéma detailu zatepleného komína.....	107
Obrázek 73 - schéma okrajových podmínek detailu komína v navrhovaném stavu .....	107



Obrázek 74 - teplotní pole detailu komína v navrhovaném stavu.....	108
Obrázek 75 - izotermy detailu komína v navrhovaném stavu .....	108
Obrázek 76 - schéma zateplení trámového zhlaví varianta A a B.....	110
Obrázek 77 - schéma řezu nové stropní konstrukce.....	110
Obrázek 78 - schéma zateplení zhlaví trámu varianta C.....	111
Obrázek 79 - teplotní pole detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách .....	112
Obrázek 80 - izotermy detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách.....	113
Obrázek 81 - pole relativních vlhkostí detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách .....	113
Obrázek 82 - průběhy teplot a relativních vlhkostí konstrukcí po celé období výpočtu skladby obvodové konstrukce s vnějším zateplením .....	117
Obrázek 83 - průběhy teplot a relativních vlhkostí konstrukcí po celé období výpočtu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením ve variantách.....	122
Obrázek 84 - teplotní pole a relativní vlhkost detailu zatepleného koutu v době nejnižší vnitřní povrchové teploty v navrhovaném stavu.....	126
Obrázek 85 - teplotní pole a relativní vlhkosti detailu soklu v navrhovaném stavu v době nejnižší vnitřní povrchové teploty.....	129
Obrázek 86 - schéma okrajových podmínek detailu komína v navrhovaném stavu .....	130
Obrázek 87 - pole teplot v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína v navrhovaném stavu .....	132
Obrázek 88 - průběh relativních vlhkostí v době nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína v navrhovaném stavu .....	132
Obrázek 89 – teplotní pole a relativní vlhkosti detailu zhlaví trámu v době nejnižší vnitřní povrchové teploty v navrhovaném stavu ve variantách .....	136
Obrázek 90 – tzv. vídeňská mřížka [19]Realita .....	162



## Seznam grafů

Graf 1 - průběh teplot konstrukcí stávající stěny vodní páry stávající stěnou.....	Graf 2 - průběh částečných tlaků	31
Graf 3 - vnitřní okrajové podmínky pro dynamický výpočtový model.....		54
Graf 4 - roční průběh venkovních teplot v hodinovém kroku.....		54
Graf 5 - roční průběh relativních vlhkostí v hodinovém kroku .....		55
Graf 6 - roční analýza slunečního záření a množství srážek dle světových stran.....		55
Graf 7- roční průběh povrchových teplot skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu ve variantách.....		60
Graf 8 - roční průběh relativních vlhkostí skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu ve variantách.....		61
Graf 9 – rozdíly vnitřních povrchových teplot skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu oproti variantě A .....		62
Graf 10 - rozdíly relativních vlhkostí na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu oproti variantě A.....		62
Graf 11 - průběhy nejnižších vnitřních povrchových teplot a relativních vlhkostí ve variantách skladby obvodové konstrukce ve stávajícím stavu s a bez vlivu latentního tepla ve výpočtech		64
Graf 12 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu koutu stěny ve stávajícím stavu .....		65
Graf 13 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu koutu stěny ve stávajícím stavu .....		65
Graf 14 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu soklu ve stávajícím stavu .....		67
Graf 15 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu soklu ve stávajícím stavu .....		67
Graf 16 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu komína ve stávajícím stavu .		70
Graf 17 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu komína ve stávajícím stavu.....		70
Graf 18 - roční průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....		72
Graf 19 - roční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu.....		72
Graf 20 - vyhodnocení teplotního faktoru vnitřního povrchu všech detailů ve stávajícím stavu		76
Graf 21 - průběh teplot konstrukcí s vnější TI	Graf 22 - průběh částečných tlaků vodní páry s vnější TI.....	81
Graf 23 - průběh teplot konstrukcí s vnitřní TI	Graf 24 - průběh částečných tlaků vodní páry s vnitřní TI.....	83
Graf 25 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnějším zateplením .....		118
Graf 26 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnějším zateplením .....		118
Graf 27 - schéma skladby vnitřního zateplení obvodové konstrukce .....		120
Graf 28 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením.....		121





Graf 29 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením .....	121
Graf 30 - Relativní vlhkost na rozhraní vnitřního zateplení a lepidla (kraj izolace blíže exteriéru) skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením ve variantách ....	122
Graf 31 - plošná vlhkost skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením v průběhu deseti let .....	123
Graf 32 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu koutu v navrhovaném stavu..	125
Graf 33 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu koutu v navrhovaném stavu .....	125
Graf 34 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu soklu v navrhovaném stavu...	128
Graf 35 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu soklu v navrhovaném stavu .....	128
Graf 36 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu komína v navrhovaném stavu	131
Graf 37 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu komína v navrhovaném stavu.....	131
Graf 38 - celoroční průběh teplot na vnitřním povrchu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu .....	134
Graf 39 - celoroční průběh relativních vlhkostí na vnitřním povrchu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu.....	134
Graf 40 - celoroční průběh teplot na zhlaví zabudovaného trámu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu.....	135
Graf 41 - celoroční průběh relativních vlhkostí na zhlaví zabudovaného trámu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu .....	135
Graf 42 - vyhodnocení návrhů stavebně technického řešení všech detailů .....	138

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - požadovaný lineární činitel prostupu tepla $\psi_N$ podle ČSN 730540-2 [11] .....	26
Tabulka 2 - normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ pro konstrukci obvodové stěny dle ČSN 73 0540-2 .....	27
Tabulka 3 - tepelné odpory při přestupu tepla [14].....	29
Tabulka 4 - tabulka materiálů skladby stávající stěny.....	31
Tabulka 5 - tabulka výsledků a vyhodnocení stávající skladby stěny .....	32
Tabulka 6 - tabulka materiálů detailu koutu ve stávajícím stavu.....	33
Tabulka 7 – vyhodnocení detailu koutu ve stávajícím stavu.....	34
Tabulka 8 - tabulka materiálů detailu soklu ve stávajícím stavu .....	35
Tabulka 9 - vyhodnocení detailu soklu ve stávajícím stavu .....	37
Tabulka 10 - tabulka materiálů detailu parapetu ve stávajícím stavu .....	38
Tabulka 11 - vyhodnocení detailu parapetu ve stávajícím stavu .....	39
Tabulka 12 - tabulka materiálů detailu nadpraží ve stávajícím stavu .....	40
Tabulka 13 – vyhodnocení detailu nadpraží ve stávajícím stavu .....	41
Tabulka 14 - tabulka materiálů detailu ostění ve stávajícím stavu .....	42
Tabulka 15 - vyhodnocení detailu ostění ve stávajícím stavu.....	43



Tabulka 16 - tabulka materiálů detailu komína ve stávajícím stavu .....	45
Tabulka 17 – vyhodnocení detailu komína ve stávajícím stavu .....	46
Tabulka 18 - tabulka materiálů detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....	48
Tabulka 19 – vyhodnocení detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....	50
Tabulka 20 – vyhodnocení lineárního činitele prostupu tepla všech detailů ve stávajícím stavu .....	51
Tabulka 21 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů ve stávajícím stavu .....	51
Tabulka 22 - klasifikace zdiva dle ČSN P 73 0610 [16].....	53
Tabulka 23 - souhrnná roční analýza klimatu .....	55
Tabulka 24 - tabulka materiálů skladby obvodové stěny ve stávajícím stavu .....	57
Tabulka 25 - rozptyl výsledků na skladbě obvodové konstrukce ve stávajícím stavu a stanovená přírážka.....	63
Tabulka 26 - tabulka výsledků a vyhodnocení obvodové konstrukce ve stávajícím stavu .....	63
Tabulka 27 – vyhodnocení detailu koutu stěny ve stávajícím stavu .....	66
Tabulka 28 – vyhodnocení detailu soklu ve stávajícím stavu.....	68
Tabulka 29 – vyhodnocení detailu komína ve stávajícím stavu .....	71
Tabulka 30 – vyhodnocení detailu zhlaví trámu ve stávajícím stavu .....	73
Tabulka 31 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů ve stávajícím stavu z dynamického výpočtového modelu.....	75
Tabulka 32 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů dle vypočtených relativních vlhkostí v dynamickém výpočtovém modelu .....	75
Tabulka 33 - tabulka materiálů skladby obvodové konstrukce s vnějším zateplením v navrhovaném stavu .....	80
Tabulka 34 – vyhodnocení obvodové konstrukce s vnějším zateplením v navrhovaném stavu	81
Tabulka 35 - tabulka materiálů obvodové konstrukce s vnitřním zateplením v navrhovaném stavu .....	82
Tabulka 36 – vyhodnocení obvodové konstrukce s vnitřním zateplením v navrhovaném stavu	83
Tabulka 37 - tabulka materiálů detailu koutu v navrhovaném stavu .....	84
Tabulka 38 - vyhodnocení detailu koutu v navrhovaném stavu .....	85
Tabulka 39 - tabulka materiálů detailu soklu v navrhovaném stavu .....	88
Tabulka 40 - vyhodnocení detailu soklu v navrhovaném stavu .....	91
Tabulka 41 - tabulka materiálů detailu parapetu v navrhovaném stavu.....	94
Tabulka 42 - vyhodnocení detailu parapetu v navrhovaném stavu.....	96
Tabulka 43 - vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu parapetu v navrhovaném stavu podle teplot rosného bodu pro vyšší relativní vlhkosti .....	96
Tabulka 44 - tabulka materiálů detailu nadpraží v navrhovaném stavu.....	99
Tabulka 45 - vyhodnocení detailu parapetu v navrhovaném stavu.....	101
Tabulka 46 - vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty na výplni otvoru detailu nadpraží v navrhovaném stavu podle teplot rosného bodu pro vyšší relativní vlhkosti .....	101
Tabulka 47 - tabulka materiálů detailu ostění v navrhovaném stavu.....	104
Tabulka 48 - vyhodnocení detailu ostění v navrhovaném stavu.....	106



Tabulka 49 - vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty detailu ostění v navrhovaném stavu podle teplot rosného bodu pro vyšší relativní vlhkosti.....	106
Tabulka 50 - tabulka materiálů detailu komína v navrhovaném stavu.....	108
Tabulka 51 – vyhodnocení detailu komína v navrhovaném stavu.....	109
Tabulka 52 - tabulka materiálů detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu.....	111
Tabulka 53 – vyhodnocení lineárního činitele prostupu tepla detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách .....	114
Tabulka 54 – vyhodnocení teplot detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu ve variantách ..	114
Tabulka 55 – vyhodnocení lineárního činitele prostupu tepla všech detailů v navrhovaném stavu .....	115
Tabulka 56 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů v navrhovaném stavu.....	115
Tabulka 57 - vyhodnocení skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnějším zateplením.....	119
Tabulka 58 - vyhodnocení skladby obvodové konstrukce v navrhovaném stavu s vnitřním zateplením.....	123
Tabulka 59 – vyhodnocení detailu koutu v navrhovaném stavu .....	126
Tabulka 60 – vyhodnocení detailu soklu v navrhovaném stavu .....	129
Tabulka 61 – vyhodnocení detailu komína v navrhovaném stavu.....	132
Tabulka 62 - vyhodnocení hmotnostní vlhkosti materiálu detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu.....	136
Tabulka 63 - vyhodnocení tvorby plísní a kondenzace vodních par detailu zhlaví trámu v navrhovaném stavu.....	136
Tabulka 64 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů dle vypočtených povrchových teplot v dynamickém výpočtovém modelu.....	137
Tabulka 65 – vyhodnocení rizika tvorby plísní a kondenzace na vnitřním povrchu konstrukce všech detailů dle vypočtených relativních vlhkostí v dynamickém výpočtovém modelu .....	137

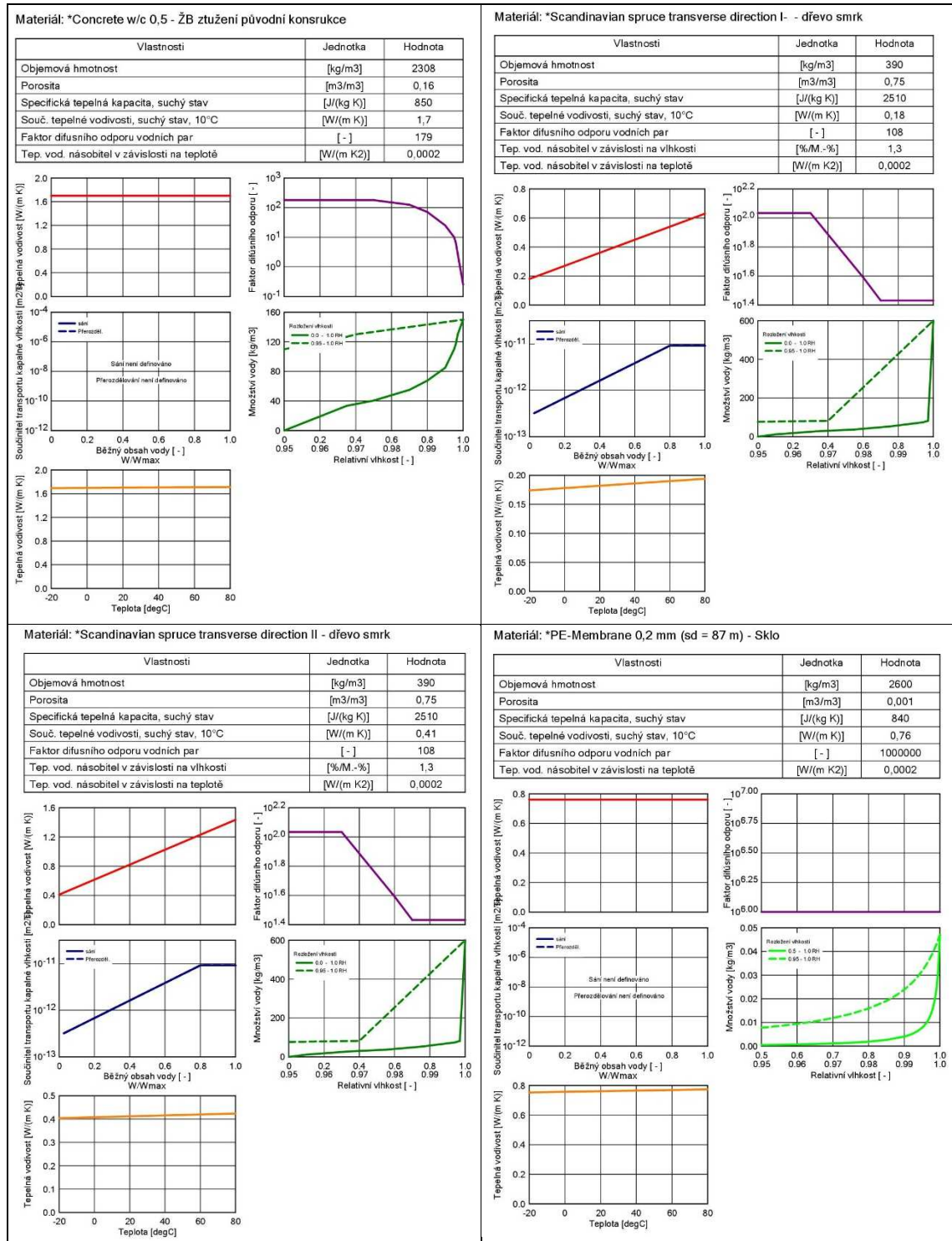


# Příloha č. 1. Použité materiály

Materiál: *Solid Brick, historical - Zdivo z cihly plně pálené			Materiál: *Mortar (historical): Lime + Cocciopesto (crushed bricks) - Vnitřní omítky		
Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1800	Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1576
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,31	Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,44
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850	Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,6	Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,58
Faktor difúzního odporu vodních par	[-]	15	Faktor difúzního odporu vodních par	[-]	7,02
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	15	Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	4,82
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002	Nasyčení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	328,96
			Součinitel absorpce vody	[kg/(m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> )]	0,27
			Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002

Materiál: *Sandy Loam - Zemina			Materiál: *Concrete, C12/15 - Prostý beton původní		
Vlastnosti	Jednotka	Hodnota	Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1550	Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	2200
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,4	Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,18
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850	Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,454	Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	1,6
Faktor difúzního odporu vodních par	[-]	50	Faktor difúzního odporu vodních par	[-]	92
			Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
			Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002

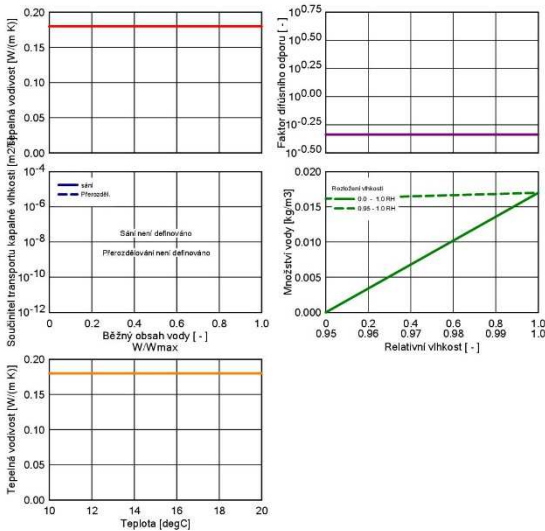






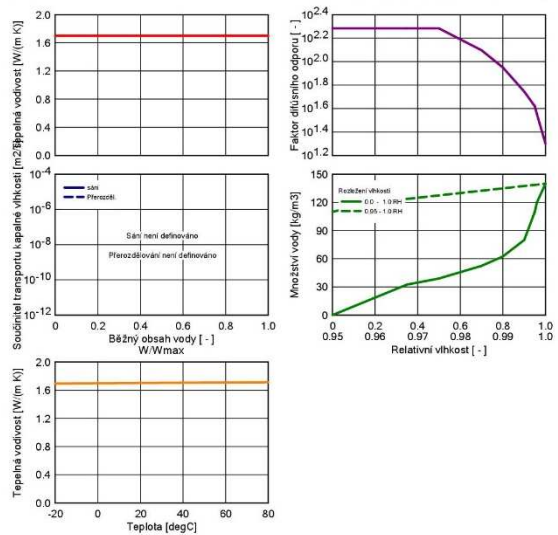
Materiál: \*Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity - Vzduchová me

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnosť	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,3
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,999
Špecifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1000
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,18
Faktor difúzie odporu vodních par	[-]	0,46



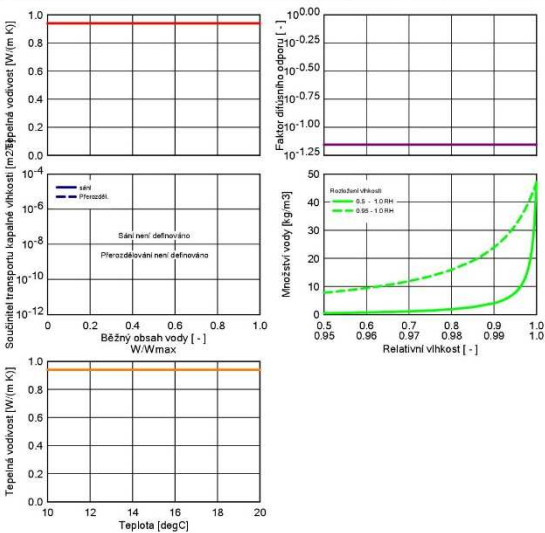
Materiál: \*Concrete w/c 0,4 - ŽB překlad

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnosť	[kg/m <sup>3</sup> ]	2322
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,15
Špecifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	1,7
Faktor difúzie odporu vodních par	[-]	192
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002



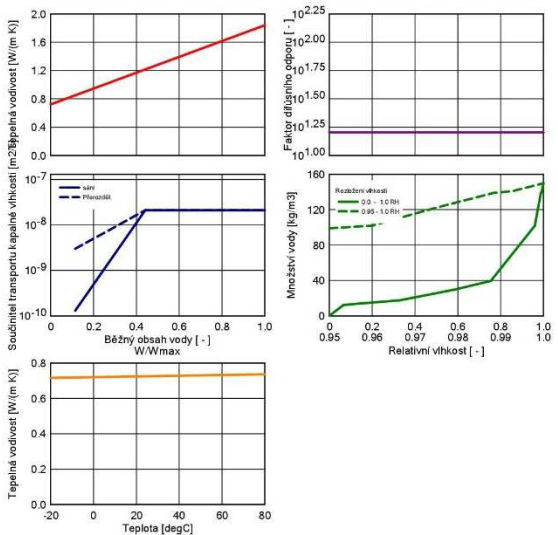
Materiál: \*Air Layer 150 mm - Dutina ve stropě, v komině

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnosť	[kg/m <sup>3</sup> ]	1,3
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,999
Špecifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1000
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,94
Faktor difúzie odporu vodních par	[-]	0,07



Materiál: \*Lime Silica Brick Rutsch - Vápenopísková cihla

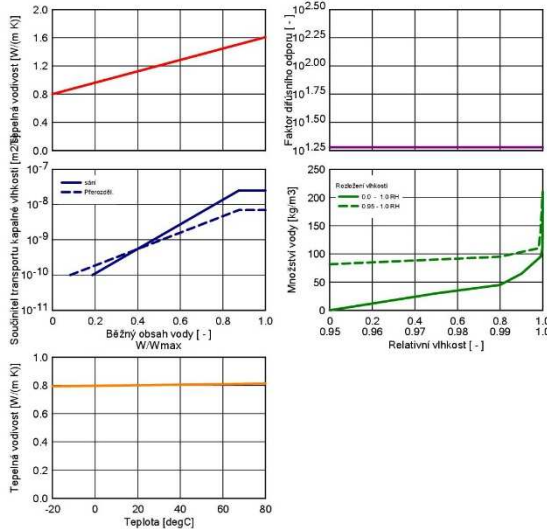
Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnosť	[kg/m <sup>3</sup> ]	1755
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,34
Špecifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	868
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,722
Faktor difúzie odporu vodních par	[-]	16
Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	39
Nasycení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	150
Součinitel absorpce vody	[kg/(m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> )]	0,0111
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	2,0000E-4





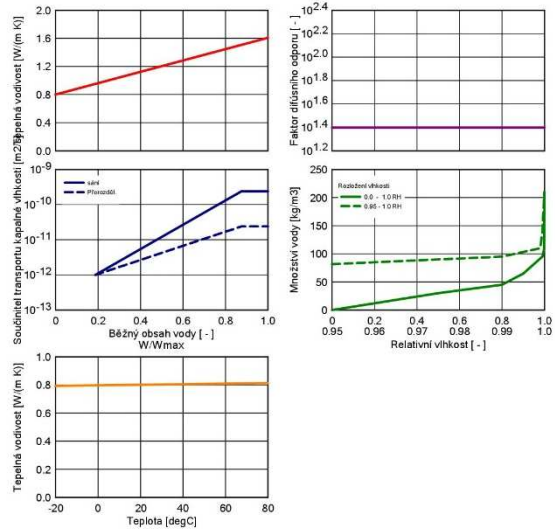
Materiál: \*Cement Lime Plaster (stucco, A-value: 1.0 kg/m<sup>2</sup>h0.5) - vnitřní štuk

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1900
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,24
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,8
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	19
Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	45
Nasyčení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	210
Součinitel absorpce vody	[kg/(m <sup>2</sup> s*0.5)]	0,017
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002



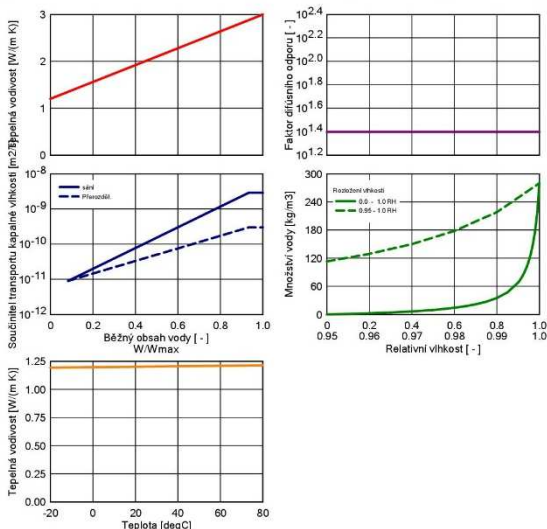
Materiál: \*Mineral Plaster (stucco, A-value: 0.1 kg/m<sup>2</sup>h0.5) - Jádřová omítka

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1900
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,24
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,8
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	25
Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	45
Nasyčení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	210
Součinitel absorpce vody	[kg/(m <sup>2</sup> s*0.5)]	0,00167
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002



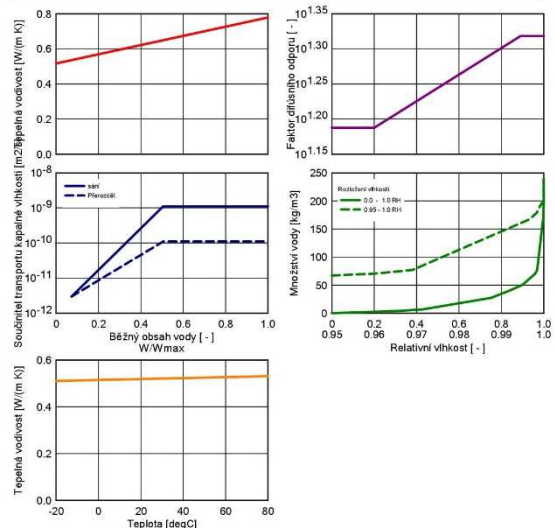
Materiál: \*Cement Plaster (stucco, A-value: 0.51 kg/m<sup>2</sup>h0.5) - Cementový postřik

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	2000
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,3
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	1,2
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	25
Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	35
Nasyčení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	280
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	10
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002



Materiál: \*Knauf TecTem® Adhesive Mortar - Lepicí stěrková hmota, lepidlo

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1397
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,4729
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1122
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,5167
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	15,4
Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	34,6
Nasyčení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	238,8
Součinitel absorpce vody	[kg/(m <sup>2</sup> s*0.5)]	0,0041
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	1,5
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	0,0002

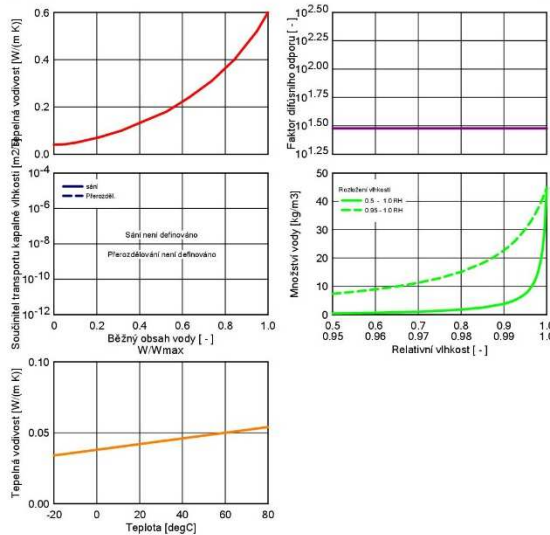






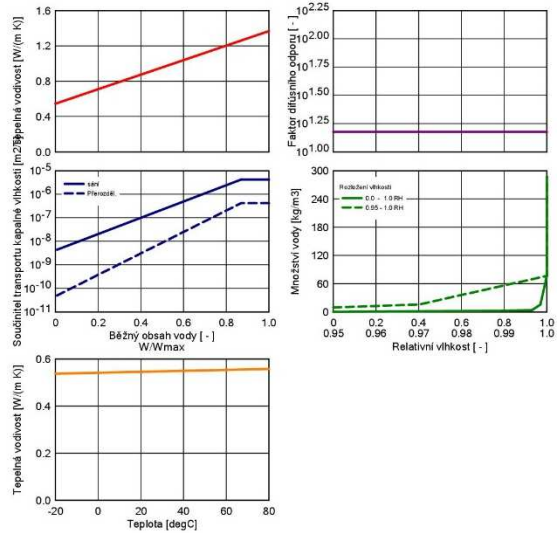
Materiál: \*EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m3) - Tepeľná izolace z €

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m3]	15
Porosita	[m3/m3]	0,95
Specifická tepeľná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1500
Souč. tepeľné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,04
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	30
Tepeľ. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K2)]	0,0002



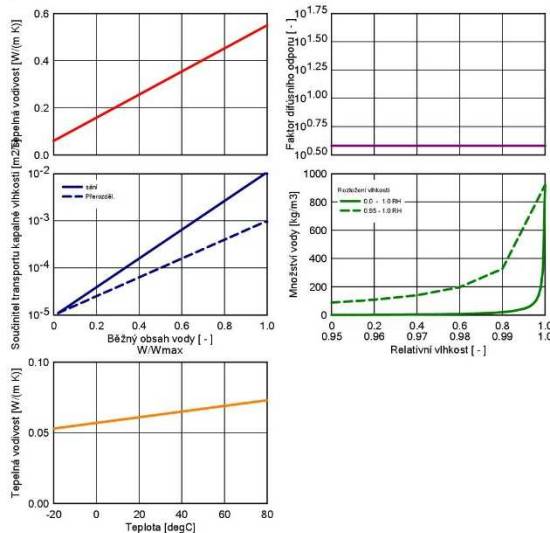
Materiál: \*Wienerberger Solid Brick - Cihelný páske

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m3]	1744
Porosita	[m3/m3]	0,33
Specifická tepeľná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	889
Souč. tepeľné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,54376417
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	15
Odkaz na množství vody	[kg/m3]	2,5
Nasycení volnou vodou	[kg/m3]	287
Součinitel absorpce vody	[kg/(m2 s*0.5)]	0,3
Tepeľ. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
Tepeľ. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K2)]	2,00000E-4



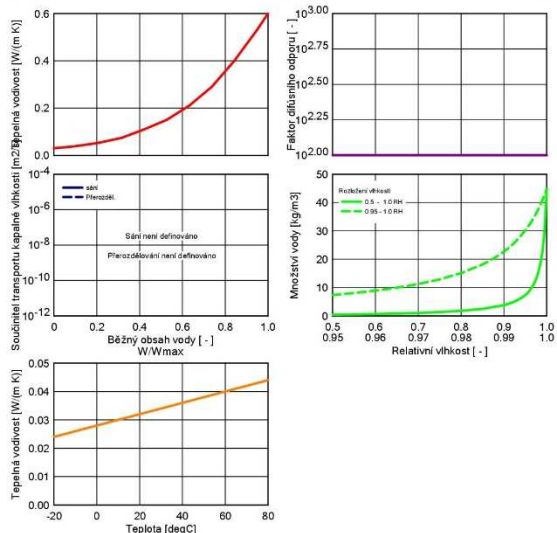
Materiál: \*Calcium Silikates - Klciumsilikát pro vnitřní tepeľnou izolaci

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m3]	185
Porosita	[m3/m3]	0,93
Specifická tepeľná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1162
Souč. tepeľné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,059
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	3,8
Odkaz na množství vody	[kg/m3]	20
Nasycení volnou vodou	[kg/m3]	920
Součinitel absorpce vody	[kg/(m2 s*0.5)]	46
Tepeľ. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	1,656
Tepeľ. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K2)]	0,0002



Materiál: \*XPS Core (heat cond.: 0.03 W/mK) - Extrudovaný polystyrén

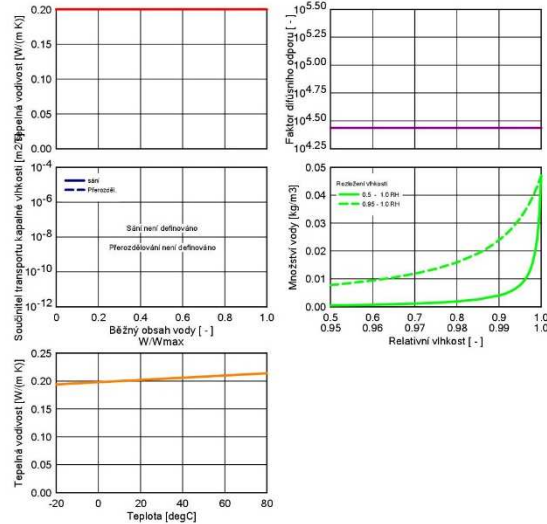
Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m3]	40
Porosita	[m3/m3]	0,95
Specifická tepeľná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1500
Souč. tepeľné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0,03
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	100
Tepeľ. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K2)]	2,00000E-4





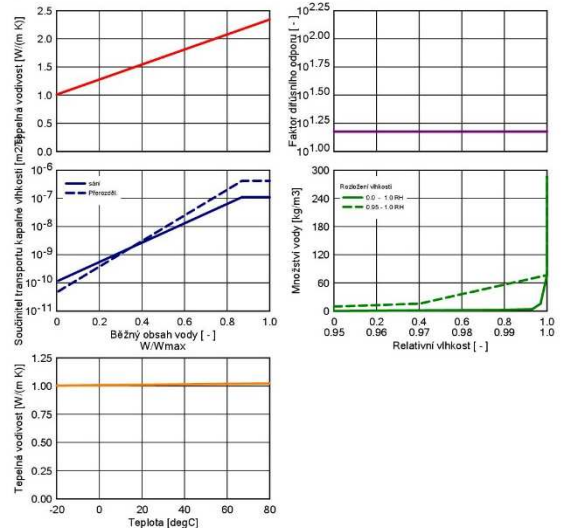
Materiál: \*Asphalt Shingle System - Modifikovaný asfaltový pás

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	1500
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.001
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	1500
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0.2
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	27300
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	2,00000E-4



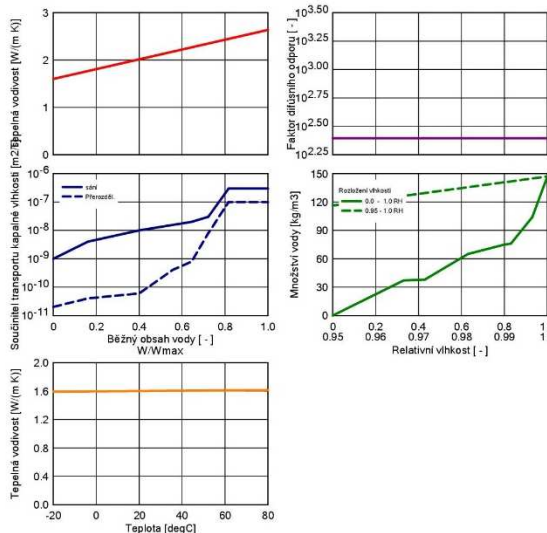
Materiál: \*Wienerberger Solid Brick - Keramická dlažba

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	2000
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.33
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	840
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	1.01
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	15
Odkaz na množství vody	[kg/m <sup>3</sup> ]	2.5
Nasycení volnou vodou	[kg/m <sup>3</sup> ]	287
Součinitel absorpce vody	[kg/(m <sup>2</sup> s <sup>0.5</sup> )]	0.05
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	2,00000E-4



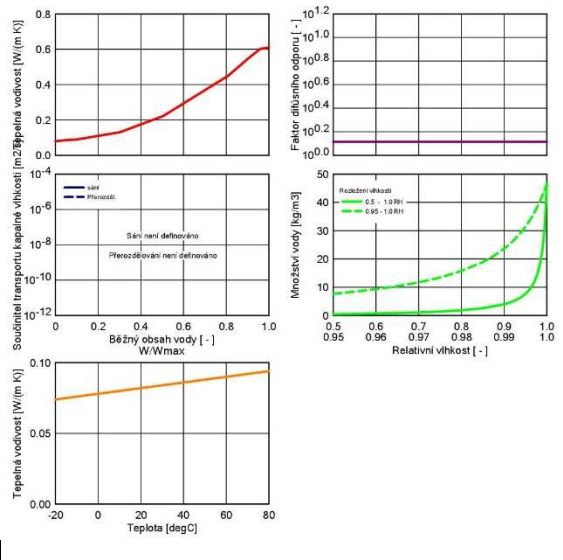
Materiál: \*Concrete, C35/45 - ŽB deska

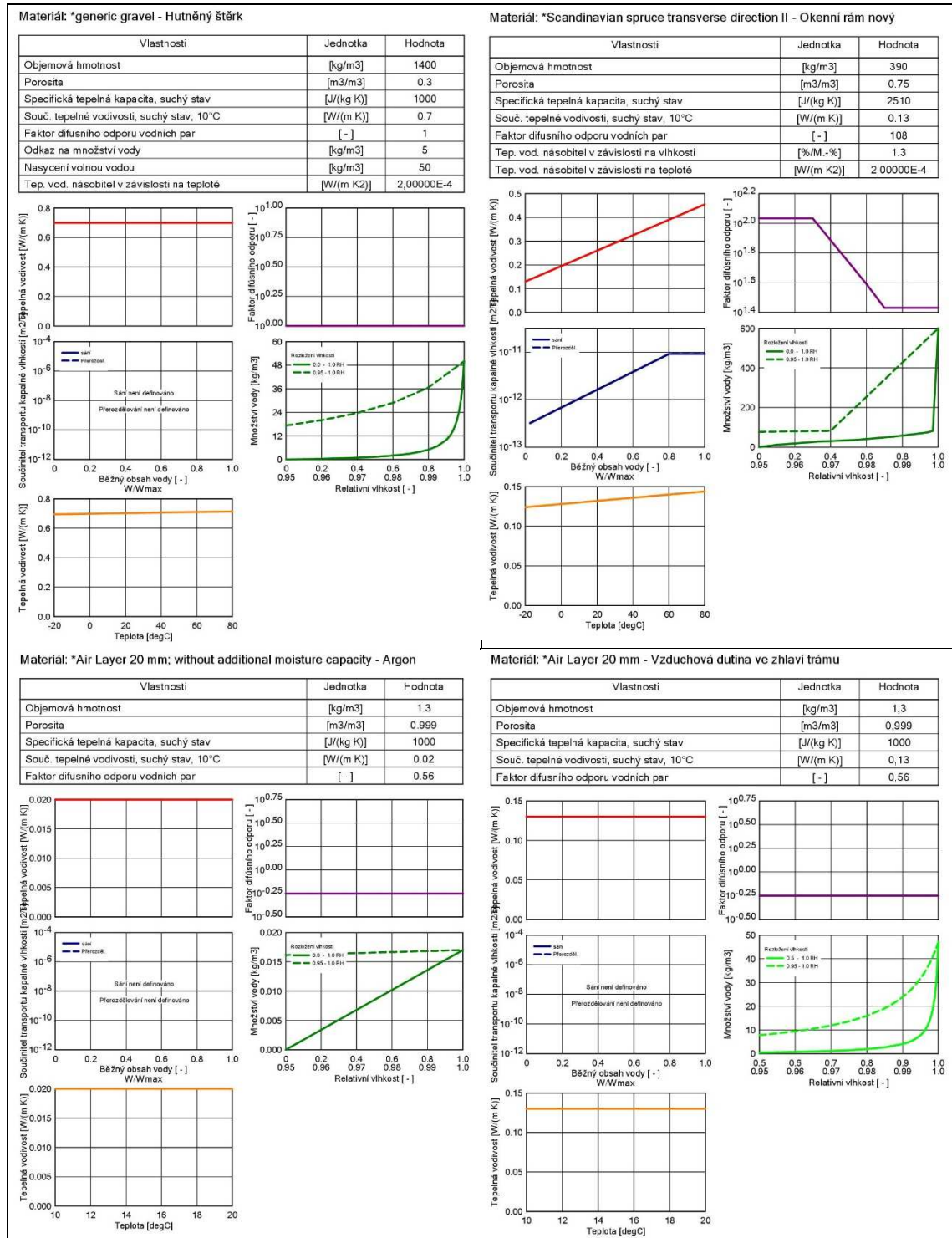
Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	2220
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.18
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	850
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	1.6
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	248
Tep. vod. násobitel v závislosti na vlhkosti	[%/M.-%]	8
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	2,00000E-4

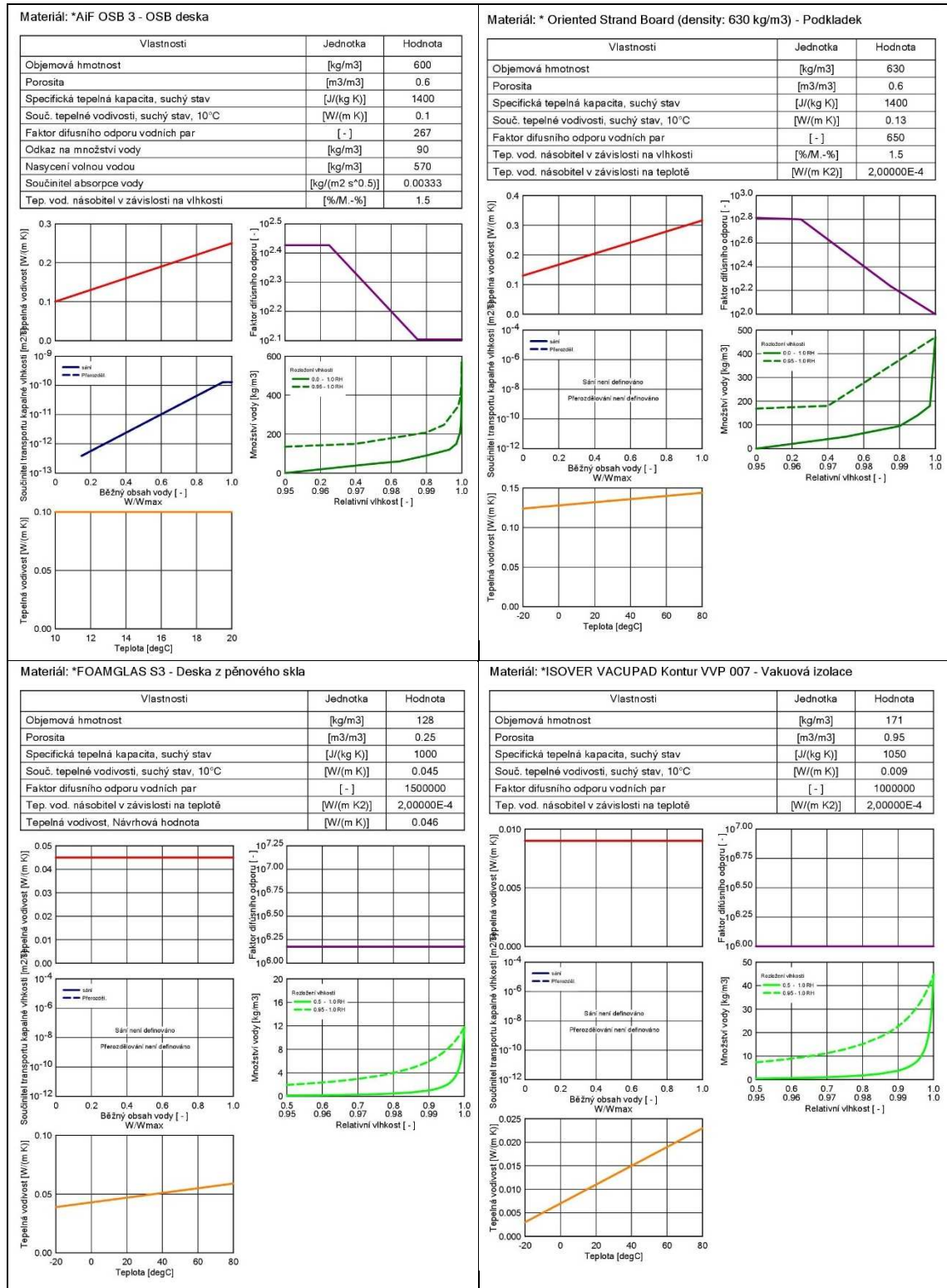


Materiál: \*Fiber Glass - Hutněný štěrk z pěnoskla

Vlastnosti	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	30
Porosita	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	0.99
Specifická tepelná kapacita, suchý stav	[J/(kg K)]	840
Souč. tepelné vodivosti, suchý stav, 10°C	[W/(m K)]	0.08
Faktor difúzního odporu vodních par	[ - ]	1.3
Tep. vod. násobitel v závislosti na teplotě	[W/(m K <sup>2</sup> )]	2,00000E-4











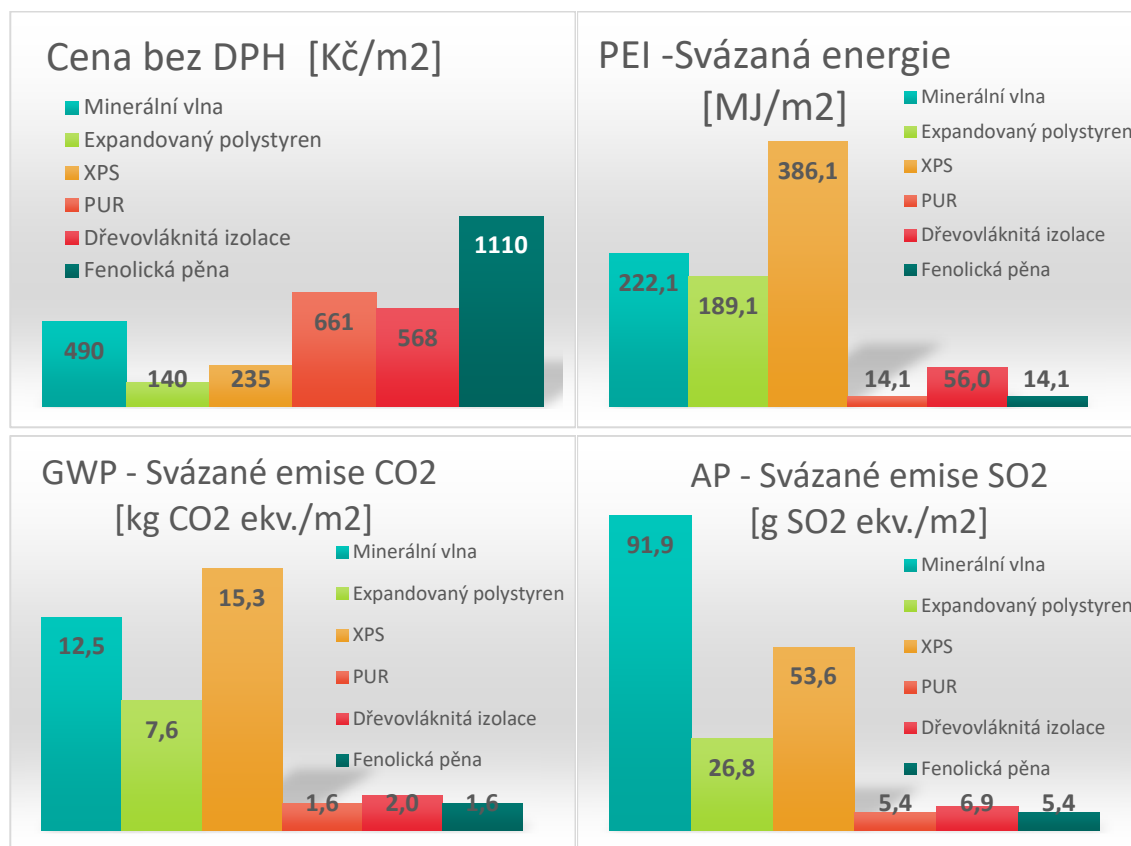
## Příloha č. 2. Výběr vhodného tepelněizolačního materiálu

Vstupní hodnoty jednotlivých materiálů

Vrstva	Vzorový výrobce	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK]	Faktor difuzního odporu μ	PEI - Svázaná energie [MJ/kg]	GWP - Svázané emise CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ekv./kg]	AP - Svázané emise SO <sub>2</sub> [g SO <sub>2</sub> ekv./kg]
Minerální vlna	ISOVER TF Profi	110	0,27	0,035	1	20,19	1,1331	8,3583
Expandovaný polystyren	ISOVER EPS 100F	18	0,29	0,037	30	105,1	4,2121	14,9
XPS	FIBRAN XPS ETICS GF	40	0,28	0,036	130	96,51	3,8205	13,392
PUR	TPD - PUR 30/40 NEW THERM systém	35	0,19	0,022	20	4,032	0,46216	1,5359
Dřevovláknitá izolace	STEICOprotect L dry	110	0,30	0,039	3	5,095	0,185353	0,629567
Fenolická pěna	Kingspan Kooltherm K5	35	0,17	0,020	35	4,032	0,46216	1,5359

Výsledky výpočtů pro porovnání

Vrstva	Hmotnost 1m <sup>2</sup> [kg]	PEI - Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP - Svázané emise CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> ]	AP - Svázané emise SO <sub>2</sub> [g SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> ]	Cena bez DPH [Kč/m <sup>2</sup> ]
Minerální vlna	11	222,1	12,5	91,9	490
Expandovaný polystyren	1,8	189,1	7,6	26,8	140
XPS	4	386,1	15,3	53,6	235
PUR	3,5	14,1	1,6	5,4	661
Dřevovláknitá izolace	11	56,0	2,0	6,9	568
Fenolická pěna	3,5	14,1	1,6	5,4	1110





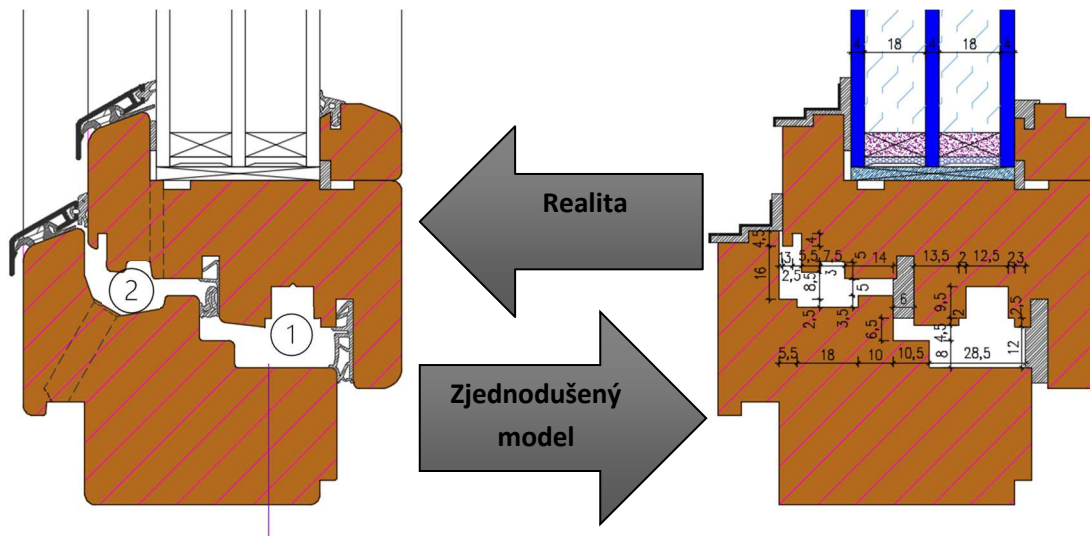
### Vyhodnocení jednotlivých materiálů

Vyhodnocení izolace	enviromentální						prostup tepla		cena		Σ
rozdělení priorit	7,8		3,5		1,9		4,6		4,9		22,7
Vrstva	PEI - Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]		GWP - Svázané emise CO <sub>2</sub> [kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> ]		AP - Svázané emise SO <sub>2</sub> [g SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup> ]		Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]		CenaTI na 1m <sup>2</sup>		Komplet
Minerální vlna	222,12	100,0%	12,46	100,0%	91,94	100,0%	0,27	100,0%	490	100,0%	100,0%
Expandovaný polystyren	189,13	85,2%	7,58	60,8%	26,82	29,2%	0,29	104,4%	140	28,6%	68,4%
XPS	386,06	173,8%	15,28	122,6%	53,57	58,3%	0,28	102,2%	235	48,0%	114,6%
PUR	14,11	6,4%	1,62	13,0%	5,38	5,8%	0,19	68,4%	661	134,9%	47,7%
Dřevovláknitá izolace	56,05	25,2%	2,04	16,4%	6,93	7,5%	0,30	108,7%	568	115,9%	58,9%
Fenolická pěna	14,11	6,4%	1,62	13,0%	5,38	5,8%	0,17	63,1%	1 110	226,5%	66,4%

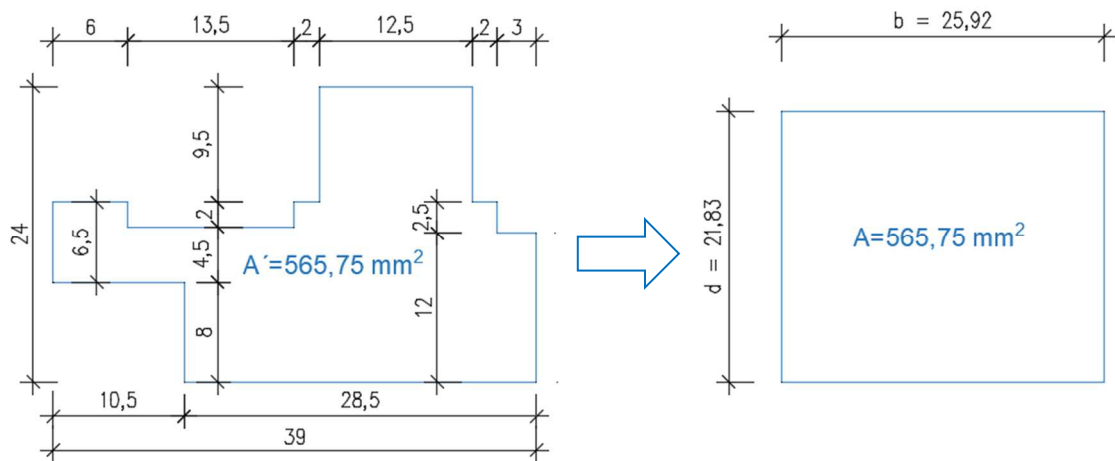
Z vyhodnocení je jasné, že nejlepším materiálem pro zvolená kritéria jsou PUR desky, přesto je pro výpočet zvolen extrudovaný polystyrén. Jedná se o variantu, která ve vyhodnocení je poměrně srovnatelná s lepšími materiály. Extrudovaný polystyrén je materiál v praxi poměrně zaběhnutý s dobrou opracovatelností, proto jeho provedení nebude pro prováděcí firmu složité. Jedná se také o nejlevnější materiál.



## Příloha č. 3. Výpočet součinitele tepelné vodivosti vzduchových dutin



Dutina 1



$$A = A' \quad A' = 565,75 \text{ mm}^2$$

$$b/d = b'/d' \quad b'/d' = 24/28,5 = 0,842105$$

$$d \times b = 567,75 \text{ mm}^2 \quad d/b = 24/28,5 \rightarrow d = 16b/19 \quad 565,75 = 16b/19 \times b$$

$$b = 25,9196 \text{ mm} \quad d = 21,8271 \text{ mm}$$

$$F = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} - \frac{d}{b} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{24}{28,5}\right)^2} - \frac{24}{28,5} \right) = 0,7326$$

$$E = \frac{47}{53} = 0,8868$$

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times T_m^3 \times E \times F = 2,27 \times 10^{-7} \times (7,5 + 273,15)^3 \times \frac{47}{53} \times 0,7326 = 3,260$$





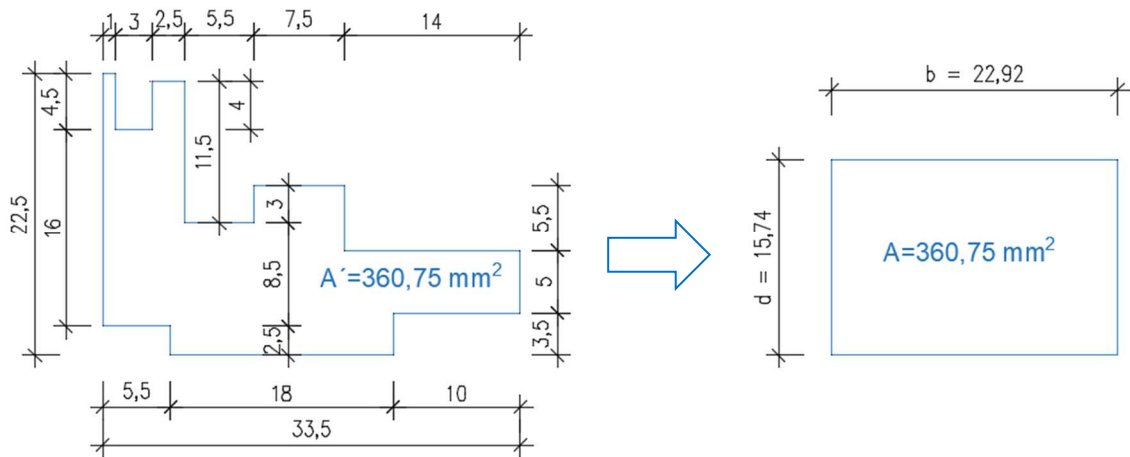
$$h_a = \max(1,57; 0,25/d) = \max(1,57; 0,25/21,8271) = \max(1,57; 1,1453)$$

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{1,57 + 3,260} = 0,207$$

$$R_{g,sv} = R_g/2 = 0,1035$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \rightarrow \quad 0,207 = \frac{0,039}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = 0,188 \text{ W/(mK)}$$

Dutina 2



$$A = A' \quad A' = 360,75 \text{ mm}^2$$

$$b/d = b'/d' \quad b'/d' = 23/33,5 = 0,6865$$

$$d \times b = 360,75 \text{ mm}^2 \quad d/b = 23/33,5 \rightarrow d = 23b/33,5 \quad 565,75 = 23b/33,5 \times b$$

$$b = 22,9225 \text{ mm} \quad d = 15,7378 \text{ mm}$$

$$F = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} - \frac{d}{b} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{23}{33,5}\right)^2} - \frac{23}{33,5} \right) = 0,7632$$

$$E = \frac{47}{53} = 0,8868$$

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times T_m^3 \times E \times F = 2,27 \times 10^{-7} \times (-5 + 273,15)^3 \times \frac{47}{53} \times 0,7632 = 2,9623$$

$$h_a = \max(1,57; 0,25/d) = \max(1,57; 0,25/15,7378) = \max(1,57; 1,5885)$$

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{1,5885 + 2,9623} = 0,2197$$

$$R_{g,sv} = R_g/2 = 0,1099$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \rightarrow \quad 0,207 = \frac{0,0335}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = 0,305 \text{ W/(mK)}$$



## Příloha č. 4. Průměrné měsíční teploty v zemině

**Průměrné měsíční teploty v zemině v hloubce 2 m pod terénem  
 dle ČSN EN ISO 13788**

Lokalita: Zlín

Zimní návrh. teplota: -15 °C

Zdroj průměrných měsíčních teplot venkovního vzduchu: Teplo 2017 EDU

Měsíc	Počet dnů d	Teplota venkovního vzduchu degC	Teplota v zemině (prac.) degC	Teplota v zemině (2 m) degC
1	31	-2,3	3,1	4,0
2	28	-0,3	4,1	3,1
3	31	3,6	6,0	4,1
4	30	8,6	8,5	6,0
5	31	13,4	10,9	8,5
6	30	16,3	12,4	10,9
7	31	17,8	13,1	12,4
8	31	17,3	12,9	13,1
9	30	13,7	11,1	12,9
10	31	9,0	8,7	11,1
11	30	3,7	6,1	8,7
12	31	-0,4	4,0	6,1
		<b>8,4</b>		
		prům.		

