

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Diplomová práce

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího Ing. Pavla Kopeckého, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů.

.....

podpis

Děkuji Ing. Pavlovi Kopeckému, Ph.D. za odborné vedení při psaní této diplomové práce, poskytnuté podklady a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat týmu Výpočetního centra FSv ČVUT v Praze, za zajištění dálkového přístupu, k softwarovému vybavení používanému v počítačových učebnách na FSv ČVUT v Praze prostřednictvím tzv. „virtuálních učeben“. Závěrem bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli oporou v průběhu mého studia.

Výpočtová zkoumání dřevěných trámových
zhlaví v cihelném zdivu s vnitřní tepelnou
izolací

Computational investigations of wooden beam
ends in masonry with internal insulation

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šeřčík Jméno: Jan Osobní číslo: 423725
 Zadávající katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb K124
 Studijní program: Budovy a prostředí
 Studijní obor: Budovy a prostředí - zaměření Konstrukce budov

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Výpočtová zkoumání dřevěných trámových zhlaví v cihelném zdivu s vnitřní tepelnou izolací

Název diplomové práce anglicky: Computational investigations of wooden beam ends in masonry with internal insulation

Pokyny pro vypracování:

1) Diplomant sestaví stručný přehled o současném stavu problematiky detailu trámového zhlaví a zateplení cihelného zdiva z vnitřní strany. Zejména se jedná o výstupy z projektů „RIBUILD“ a „EnOB - Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken“, a publikované výsledky v odborných časopisech v posledních pěti letech.

2) Diplomant provede výpočtovou studii tepelně vlhkostního chování detailu trámového zhlaví umístěného v kapse cihelného zdiva. Budou srovnávány: a) zdivo bez vnitřní tepelné izolace a zdivo s vnitřní tepelnou izolací, mění se ekvivalentní difúzní tloušťka izolačního systému, b) kapsa zalepená páskou a kapsa bez zalepení, včetně různých možností umístění těsnicí pásky, délky jejího přesahu na trám resp. na zdivo nebo tepelné izolaci. K této parametrické studii bude zjednodušeně využito stacionárního 2D modelu (např. program AREA).

3) Vybrané detaily budou ověřeny i stacionárním 3D modelem (např. program CUBE 3D). Jeden z posuzovaných detailů bude obsahovat posouzení varianty s ocelovou protézou. Předpokládá se, že bude posuzováno cca 5 zajímavých variant, které vyplynou z části 2).

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavel Kopecký, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 27.9.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

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“.

27.9.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace:

Diplomová práce se zabývá problematikou dřevěných trámových zhlaví v obvodových zděných konstrukcích dodatečně doplněných o vnitřní tepelnou izolaci. V práci je proveden teoretický rozbor dané problematiky s využitím dosavadních poznatků k tomuto tématu.

Hlavní část práce se zabývá výpočtovým zkoumáním dřevěných trámových zhlaví ve stacionárním 2D a 3D tepelně vlhkostním modelu a interpretací výsledků tohoto zkoumání s ohledem na další souvislosti. Jako podklady pro tvorbu modelu posloužily parametry a geometrie reálných trámových zhlaví instalovaných a dlouhodobě monitorovaných v testovacím poli fasády Univerzitních centra energeticky efektivních budov ČVUT. Naměřené výsledky z reálného experimentu rovněž posloužily pro srovnání použitého výpočtového modelu s reálným stavem. Na takto ověřených 2D a 3D modelech byly následně analyzovány různé varianty opatření na zlepšení tepelně vlhkostních podmínek v prostoru trámových kapes.

Klíčová slova: *Trámové zhlaví, trámové kapsy, historické budovy, vnitřní zateplení, vlhkostní bezpečnost, růst plísní*

Abstract:

The thesis addresses the issue of wooden beam ends in peripheral walls with additionally applied internal insulation. The thesis involves a theoretical analysis of the issue using existing knowledge on this topic. The main part of the thesis deals with the computational investigation of wooden beam ends in a stationary 2D and 3D thermal-moisture model and the interpretation of the results of this investigation with respect to other connections. Parameters and geometry of real beam heads installed and monitored for a long time in the test field of the facade of the University Centre for Energy Efficient buildings of CTU served as the data for the modeling. Measured results from real experiment also served to compare used computational model with real conditions. On this verified 2D and 3D models, various variants of measures to improve the thermal-moisture conditions in the space of the masonry pockets were subsequently analyzed.

Keywords: *Wooden beam end, masonry pockets, historical buildings, internal insulation, moisture safety, mold growth*

Obsah

Seznam použitých symbolů	9
1 Úvod.....	10
1.1 Obecný úvod	10
1.2 Cíle práce.....	11
1.3 Problematika zateplení	11
1.3.1 Obecná problematika zateplení	11
1.3.2 Problematika vlhkosti.....	13
1.3.3 Problematika vnitřního zateplení	14
1.4 Problematika trámových kapes	16
1.4.1 Obecná problematika trámových kapes	16
1.4.2 Problematika trámových kapes v kontextu vnitřního zateplení	19
2 Studie na stacionárním 2D modelu.....	25
2.1 Popis modelu	25
2.1.1 Geometrie modelu	25
2.1.2 Vlastnosti materiálů.....	26
2.1.3 Vnitřní okrajové podmínky	27
2.1.4 Vnější okrajové podmínky	28
2.1.5 Způsob vyhodnocení výsledků.....	28
2.1.6 Řešené varianty	29
2.2 Validace modelu.....	31
2.2.1 Vlastnosti materiálů.....	32
2.2.2 Vnitřní okrajové podmínky	33
2.2.3 Vnější okrajové podmínky	34
2.2.4 Vyhodnocení výsledků – srovnání s reálným experimentem.....	34
2.3 Výsledky pro jednotlivé varianty	38
2.3.1 Vnitřní okrajové podmínky	38
2.3.2 Zalepení trámové kapsy – poloha těsnicí pásky.....	41
2.3.3 Zalepení trámové kapsy – délka přesahu (na zdivu).....	44
2.3.4 Zalepení trámové kapsy – délka přesahu (na izolaci)	49
2.3.5 Provedení stropní konstrukce	53
2.3.6 Tloušťka zdiva.....	56
2.4 Shrnutí výstupů 2D modelu.....	58
3 Studie na 3D modelu	59
3.1 Popis modelu	59
3.1.1 Geometrie modelu	59
3.1.2 Vlastnosti materiálů.....	62
3.1.3 Vnitřní okrajové podmínky	63
3.1.4 Venkovní okrajové podmínky.....	64
3.1.5 Způsob vyhodnocení výsledků.....	64
3.1.6 Řešené varianty	65

3.2	Validace modelu.....	66
3.2.1	Vlastnosti materiálů.....	67
3.2.2	Vnitřní okrajové podmínky	68
3.2.3	Venkovní okrajové podmínky	69
3.2.4	Vyhodnocení výsledků – srovnání s reálným experimentem.....	69
3.3	Výsledky pro jednotlivé varianty 3D modelu	73
3.3.1	Provedení vnitřního zateplení.....	73
3.3.2	Zalepení trámové kapsy – poloha těsnicí pásky.....	79
3.3.3	Speciální technická opatření.....	84
3.4	Shrnutí výstupů 3D modelu.....	91
4	Závěr.....	92
	Seznam použité literatury a jiných zdrojů.....	94
	Přílohy	95
	Seznam obrázků	96
	Seznam tabulek.....	99

Seznam použitých symbolů

Veličiny

c	$[\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
λ	$[\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
μ	$[-]$	faktor difúzního odporu
T, t	$[\text{K}, ^\circ\text{C}]$	teplota
t_i	$[\text{^\circ C}]$	teplota vzduchu v interiéru
t_e	$[\text{^\circ C}]$	teplota vzduchu v exteriéru
RH	$[\%]$	relativní vlhkost
RH_i	$[\%]$	relativní vlhkost vzduchu v interiéru
RH_e	$[\%]$	relativní vlhkost vzduchu v exteriéru
ρ_{vp}	$[\text{kg/m}^3, \text{g/m}^3]$	koncentrace vodní páry
s_d	$[\text{m}]$	ekvivalentní difúzní tloušťka

Zkratky

Zkratky použité k rozlišení jednotlivých variant výpočtového modelu, zpracovávaných v praktické části práce, jsou popsány v této části. Pro varianty dvourozměrného stacionárního modelu se jedná o podkapitulu 2.1.6 a pro varianty trojrozměrného stacionárního modelu o podkapitulu 3.1.6.

1 Úvod

1.1 Obecný úvod

Jedním ze zásadních problémů současné společnosti je velká spotřeba energie z neobnovitelných zdrojů. Zásoby těchto zdrojů energie jsou na Zemi omezené a emise, související s jejich spotřebováváním, mají obecně negativní dopad na životní prostředí. Těžba uhlí, které je v České republice často používáno, jako zdroj energie pro tepelné elektrárny, teplárny či lokální topeniště, má také velký dopad na krajinu a vyžaduje nákladné rekultivační zásahy po ukončení těžby.

Značný potenciál k efektivnějšímu využívání energie z jakýchkoli zdrojů lze najít v provozu budov. V tomto segmentu se spotřebovává více než třetina celkové spotřeby energie v České republice [1]. Podíl neobnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě energie v ČR pak činí, podle údajů z roku 2016, přibližně 85 % [2]. Z těchto důvodů jsou tedy v již delší dobu kladeny stupňující se nároky na snižování energetické náročnosti budov, například prostřednictvím zlepšování tepelně izolačních parametrů skladeb jejich obvodových konstrukcí. Samostatnou kapitolou jsou v tomto směru různé historické objekty, jejichž obvodové konstrukce a konstrukční detaily nebyly pochopitelně původně navrhovány přímo s ohledem na tyto požadavky. Jedním z takových, zcela zásadních, konstrukčních detailů takových budov je pak právě trémové zhlaví, potažmo celý prostor trémové kapsy a jejího okolí. U těchto budov, z velké většiny postavených před rokem 1945, se často jedná o objekty s architektonicky hodnotnou fasádou. V roce 2011 žilo v České republice zhruba 36 % lidí v budovách, postavených před rokem 1945 [3], jedná se tedy o nezanedbatelný podíl obytných budov, přičemž lze předpokládat, že velká část z nich má stále původní dřevěné stropy v kombinaci s jednovrstvým obvodovým zdivem.

U novostaveb a velké části budov postavených po roce 1945 se zpravidla preferuje běžné osvědčené řešení, tedy aplikace zateplovacího systému. Takový systém je aplikován zpravidla na vnější, exteriérové straně obvodových konstrukcí, zároveň tak přispívá k ochraně těchto konstrukcí před povětrnostními vlivy a umožňuje zpravidla relativně snadné řešení případných tepelných mostů.

Existuje ovšem řada případů, kdy je použití vnějšího zateplení nevhodné nebo dokonce zcela nepřijatelné. Nemožnost použití těchto standartních postupů může být způsobena

přáním investora, či stanoviskem orgánu státní památkové péče, nebo obecně širšími okolnostmi souvisejícími s danou lokalitou, zvláště pak v případech jedná-li se o památkovou zónu. V takových případech je na zvážení, zda použít alternativní opatření, kterým může být například vnitřní zateplení, tedy aplikace tepelně izolačního souvrství na vnitřním líci obvodové zděné stěny. Vždy se však takovém případě jedná o rizikovější řešení, které může do budoucna přinést různé problémy.

1.2 Cíle práce

1. Základní popis problematiky dřevěných trámových zhlaví ve zděných obvodových konstrukcích s vnitřním zateplením.
2. Sestavení stacionárního dvourozměrného výpočetního modelu v softwaru Area 2017 a vyhodnocení výsledků pro jeho jednotlivé, různě modifikované, varianty.
3. Sestavení stacionárního trojrozměrného výpočetního modelu v softwaru Cube 3D 2017 a vyhodnocení výsledků pro jeho jednotlivé, různě modifikované, varianty.
4. Interpretace výsledků z bodů 2. a 3. a vyvození závěrů se zohledněním proveditelnosti příslušných opatření.

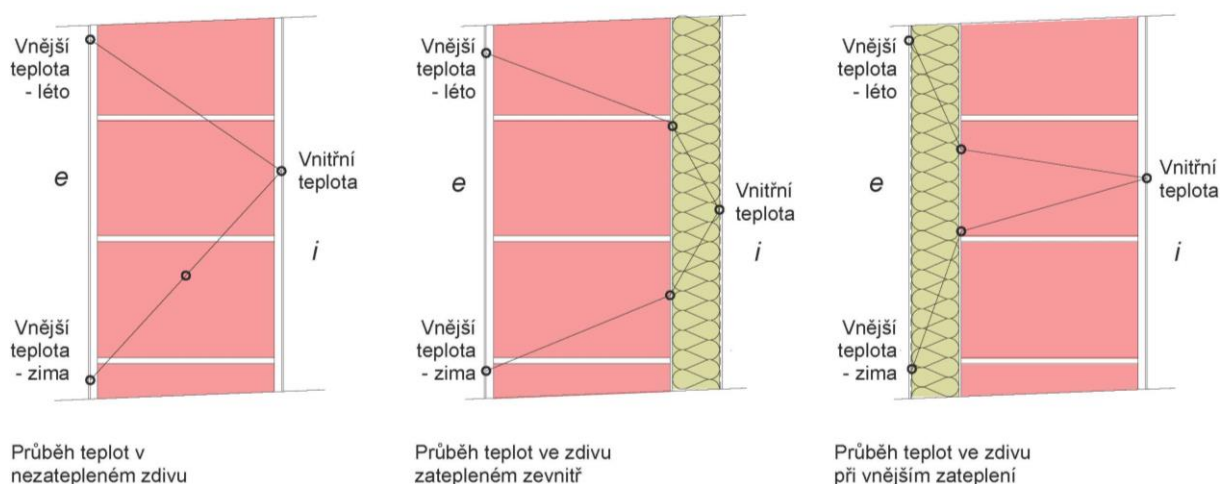
1.3 Problematika zateplení

1.3.1 Obecná problematika zateplení

Zateplení obvodových konstrukcí je jedním s hlavních nástrojů ke snižování energetické náročnosti budov. Je-li na obvodovém plášti provedeno obecně jakékoli zateplení, mění se tím také průběh teplot v příčném řezu konstrukcí.

Při provedení klasického zateplovacího systému, který je v různých formách a za použití různých materiálů nejčastěji aplikován z exteriéru, tedy na vnější straně obvodového pláště, se teplota obvodového zdiva blíží spíše teplotě v interiéru. Také je v tomto případě zachována tepelně akumulací schopnost zděné konstrukce, přispívající ke zlepšení tepelné stability v budově, zvláště v letních měsících. Naproti tomu při vnitřním zateplení se teplota obvodového zdiva blíží spíše teplotě v exteriéru a tepelně akumulací schopnost zděné konstrukce je prakticky vyloučena, respektive prakticky neovlivňuje vnitřní mikroklima v budově. Omezená, či zcela vyloučená akumulací schopnost souvrství však může být i

výhodou, a to například v případě, kdy je objekt využíván přerušovaně. Problematika vnitřního zateplení a jeho hlavní úskalí jsou podrobněji rozebrány v následující podkapitole 1.3.3 na stránce 14. Průběh teplot v příčném řezu obvodovým zdívem pro různé varianty zateplení je zobrazen na následujícím obrázku (viz. Obrázek 1).



Obrázek 1 - Průběh teplot různých variant zateplení - zdroj [4]

Na obrázku (viz. Obrázek 1) jsou vyobrazeny příčné řezy třemi různými obvodovými stěnami, první zleva je nezateplená, druhá – prostřední je vnitřním zateplením a třetí – vpravo je s vnějším zateplením. Jak je z tohoto obrázku patrné, interiérové prostředí je vždy umístěno vpravo, zatímco exteriér vlevo. Pro každou stěnu jsou zobrazeny dva různé průběhy teplot, které odpovídají situaci v letním (horní křivka), respektive v zimním (spodní křivka) období. U nezateplené stěny může být, v závislosti na počasí a lokalitě, v zimním období na vnějším povrchu konstrukce teplota pod bodem mrazu. Směrem dovnitř se pak teplota zvyšuje a její hodnota $t = 0 \text{ °C}$ se vyskytuje přibližně uprostřed nezateplené obvodové stěny. Naproti tomu v letním období teplota směrem k interiéru logicky klesá. Průběh teploty je v obou případech rovnoměrný, tedy lineární, což je zapříčiněno prakticky konstantními tepelně izolačními vlastnostmi celé skladby, tedy pokud zanedbáme určitou odchylku v relativně tenkých vrstvách omítek. U takovéto stěny dochází u vnější části konstrukce v zimě jejímu promrzání a v létě k přehřívání [4]. Tyto rozdíly teplot, nejen že spolu s vlhkostí nepříznivě ovlivňují vnitřní mikroklima, ale také přispívají k degradaci a snížení životnosti obvodového zdiva. U zateplených konstrukcí je oproti nezatepleným také možné volit menší tloušťku nosných konstrukcí, tím vzniká větší užitná plocha, to však není v kontextu této práce zásadní, neboť se zabývá zpravidla již existujícími objekty.

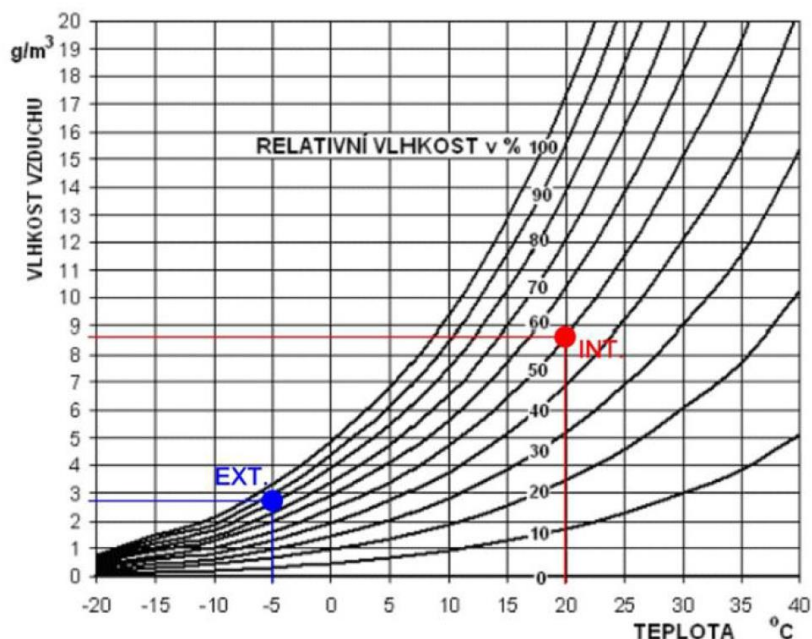
Aplikací vnějšího zateplení se, za daných podmínek, hodnota $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ odsune z obvodové konstrukce do tepelné izolace, tedy blíže k exteriéru. Tím je zabráněno promrzání konstrukce, která je tak v průběhu celého roku téměř v konstantních podmínkách. Obecně je tak omezeno teplotní ovlivňování konstrukce prostředím v exteriéru, což může přispět ke zvýšení životnosti nosné konstrukce [4]. Výhodou je rovněž už zmíněná akumulace zdiva v letním období omezující přehřívání budovy.

Vnější zateplení, oproti vnitřnímu, také umožňuje snáze omezit vliv tepelných mostů. I konstrukce s vnějším zateplením však mohou být rizikové z hlediska difúze vodní páry. Aby se toto riziko omezilo, je nutno dbát na správné seřazení jednotlivých vrstev ve skladbě. Vrstvy s vyšším difúzním odporem musí být umístěny na vnitřní stranu konstrukce. Zvláště problematické jsou v tomto směru vnější tenkovrstvé omítky s vysokým difúzním odporem. Při správné volbě tloušťky a materiálu tepelné izolace lze zajistit optimální tepelný komfort bydlení při současném snížení energetické náročnosti budovy, tedy z hlediska spotřeby energie na vytápění. Při navrhování skladeb konstrukcí obvodového pláště je třeba vzít ohled na požadavky ČSN 73 0540-2.

1.3.2 Problematika vlhkosti

Obecná problematika vlhkosti

V chladném období se vodní pára šíří z interiéru běžným užíváním budov. To je zapříčiněno například dýcháním lidí, běžnými hygienickými a úklidovými činnostmi, či záměrným vlhčením vnitřního vzduchu klimatizační jednotkou. S klesající teplotou vzduchu klesá i jeho schopnost jímat vodní páru. Chladný vzduch v exteriéru tak může pojmout pouze relativně malé množství vodní páry. Graf na následujícím obrázku pak na konkrétním příkladu ukazuje, že teplý vzduch v interiéru, i přes nižší hodnotu $RH = 50 \%$, obsahuje v zimním období vyšší koncentraci vodní páry $\rho_{vp} \approx 8,6 \text{ g/m}^3$, než vzduch venkovní (viz. Obrázek 2) [9].



Obrázek 2 – srovnání koncentrací v.p. pro vnitřní (INT.) a venkovní vzduch (EXT.) v zimním období – zdroj [10]

Šíření vodní páry

Šíření vodní páry může probíhat dvěma různými způsoby. Buďto se jedná o difuzi nebo proudění vzduchu. Při difuzi se vodní pára snaží dosáhnout rovnováhy a přirozeně se tak šíří z místa s vyšší hodnotou koncentrace ρ_{vp} [g/m^3] do míst v nižší hodnotou koncentrace vodní páry ρ_{vp} [g/m^3]. Tomu pochopitelně odpovídá standartní chování vodní páry v budově, kdy se v zimním období šíří z vnitřního do venkovního prostředí. Oproti tomu v letním období může být, v závislosti na okrajových podmínkách, situace opačná.

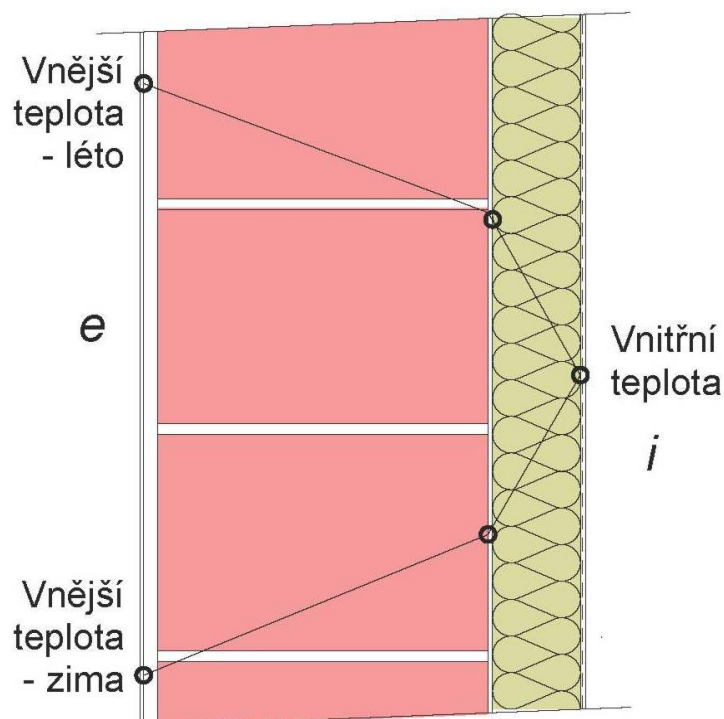
1.3.3 Problematika vnitřního zateplení

Obecně lze říci, že vnitřní zateplení patří ve stavební praxi k méně často navrhovaným a prováděným opatřením pro snížení energetické náročnosti budov. Základní informace o této variantě zateplení zazněly již v předchozí podkapitole 1.3.1. Pro shrnutí těchto informací je dobré připomenout, že vnitřní zateplení například prakticky vylučuje tepelně akumulaci schopnost obvodového zdiva a oproti jiným variantám zcela zásadně odlišným způsobem mění průběhy teplot v příčném řezu obvodovou stěnou.

Z hlediska promrzání konstrukce je situace podstatně horší než v případě stěny zateplené z vnějšku, nebo i nezateplené, protože hodnota $t = 0 \text{ °C}$ se může, v případě vnitřního zateplení, za určitých podmínek posunout až do vnitřní tepelné izolace. Obvodová konstrukce je tak vystavena velkému rozdílu teplot spolu s extrémním vlivem povětrnosti. Může tak dojít i ke snížení životnosti nosného zdiva [4].

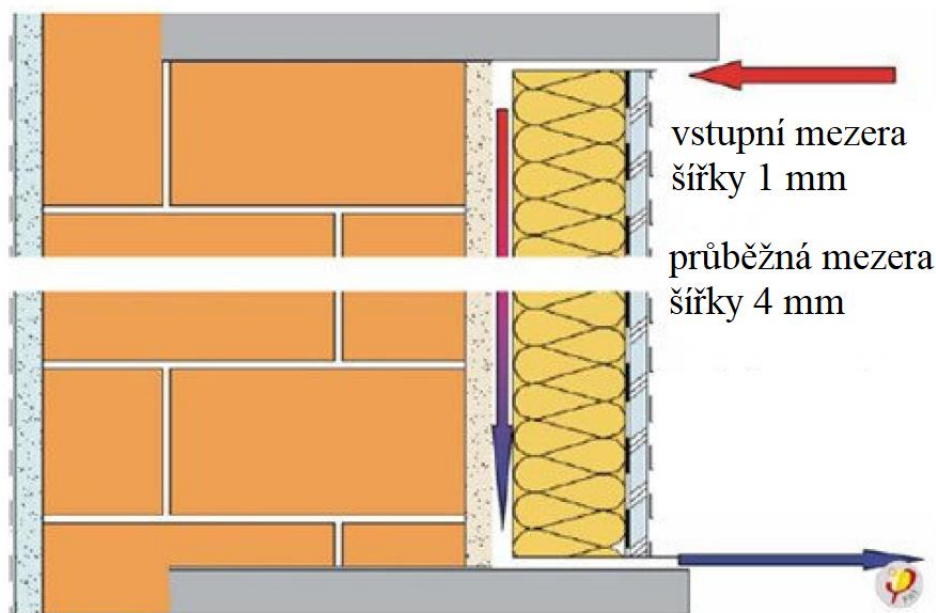
Z hlediska již dříve zmíněné problematiky akumulace tepla lze říci, že běžně používané tepelné izolace (např.: pěnový polystyrén a minerální vata) mají velmi nízkou schopnost akumulovat teplo. Tento fakt sice umožňuje rychlé vytopení místnosti, ale ve srovnání s obdobnou konstrukcí s vnějším zateplením, po přerušení vytápění teplota poměrně rychle klesá. Obecně lze říci, že zateplení z vnitřní strany lze uplatnit ve budovách, kde při teplotě $t_i = 20 \text{ °C}$ relativní vlhkost RH zpravidla nepřekračuje hodnotu 40 % [4].

U tohoto typu zateplení je třeba také upozornit také na negativní vliv tepelných mostů, zejména v místech nadokenních překladů a stropů, neboť tepelnou izolaci lze dodatečně provést většinou pouze od podlahy ke stropu. Tepelné mosty mohou být příčinou povrchové kondenzace s následným výskytem plísní.



Obrázek 3 - průběh teplot ve zdivu s vnitřním zateplením - zdroj [4]

Jednou z možností řešení vnitřního zateplení je vytvoření úzké vzduchové mezery mezi zateplovacím systémem a původním zdívem, tento systém je ilustrován na následujícím obrázku (viz. Obrázek 4) [6]. Touto mezerou může, v omezené míře, cirkulovat vzduch. Teplejší vzduch je nasáván nahoře, u stropu místnosti, dostává se za souvrství zateplovacího systému, kde se ochladí kontaktem s původní zděnou konstrukcí a klesá mezerou dolů. U podlahy poté odchází zpět do interiéru. Jak je patrné i ze zmíněného obrázku, v tomto případě je za vnitřním obložním (např. SDK deskami) aplikována parozábrana, která brání přímému pronikání vlhkosti z interiéru do tepelné izolace. Delší trasy proudění vzduchovou mezerou za konstrukcí se sníženou rychlostí vzduchu a sníženou teplotou vzduchu však mohou být kritické. V takovém případě vlhkost ve vzduchu, který se stále více ochlazuje, kondenzuje, což má za následek kumulaci vlhkosti, a to může v případě nedostatečného odvlhčování difúzí a odpařování vést k růstu plísní [7].



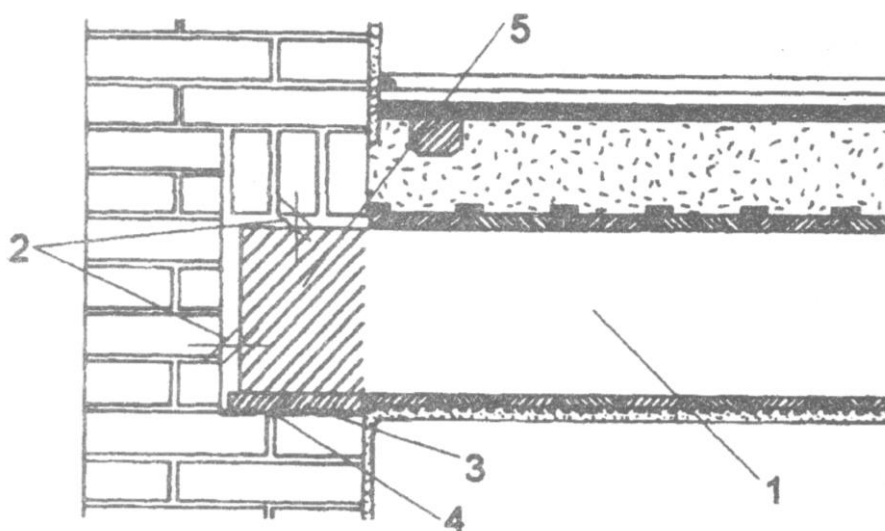
Obrázek 4 - schéma vnitřního zateplovacího systému s úzkou vzduchovou mezerou - zdroj [6]

1.4 Problematika trámových kapes

1.4.1 Obecná problematika trámových kapes

Trámová kapsa je místem uložení zpravidla dřevěného stropního trámu do nosné zděné stěny. Styk trámu se zdí je ze statického hlediska kloubový a není-li použito trámových kleští, či obdobného opatření, pak umožňuje i vodorovný posun. Jedná se o konstrukční detail,

vyskytující se především u starších, často již historických objektů, u kterých jsou stropní konstrukce řešeny formou dřevěných trámových stropů. V souvislosti s problematikou, popisovanou a zkoumanou v této práci, se budeme dále zabývat výhradně trámovými kapsami, jež jsou umístěny v obvodových zděných konstrukcích, a to především pro jejich specifické tepelně vlhkostní chování, jehož dopady jsou blíže zkoumány v praktické části této práce. V Místě kapsy je, jak je patrné z následujícího obrázku, zdivo obvodové stěny oslabeno (viz. Obrázek 5). Je tedy logické, že se jedná o takzvaný lokální tepelný most, jeho celkové tepelně-vlhkostní chování ovšem závisí také na kompletní skladbě použité stropní konstrukce, a to pochopitelně i včetně případné konstrukce podhledu. V dnešní době může být dřevěný trámový strop, je-li k tomu specifický důvod, bez větších problémů použit i u nových staveb ovšem zpravidla v kombinaci například s vnějším kontaktním zateplovacím systémem. Oním specifickým důvodem může být například požadavek na pohledové stropní trámy v interiéru, tím ovšem odpadá aplikace jakéhokoliv rovného podhledu a takový strop má tak svá další specifika, která jsou blíže popsána v následující podkapitole 1.4.2 Problematika trámových kapes v kontextu vnitřního zateplení.

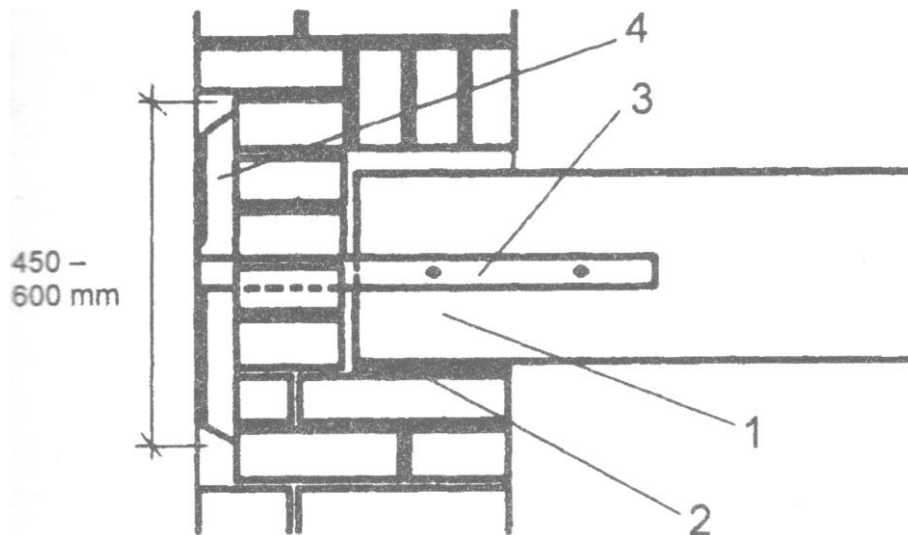


Obrázek 5 - řez historickou stropní konstrukcí v místě trámové kapsy - zdroj [8]

- 1 – stropní trám; 2 – vzduchová mezera v kapse; 3 – impregnovaný podkladek; 4 – hydroizolace;
5 – impregnované zhlaví**

Zhlaví trámů je třeba, z důvodu zabránění vzlínání vlhkosti ze zdiva do dřeva, ukládat na podkladky, zhotovené například z tvrdého impregnovaného dřeva, tyto podklady podložit kusem hydroizolačního pásu, či obdobného materiálu [8]. Zde je samozřejmě řeč o nově prováděných, či rekonstruovaných konstrukcích.

Pro zajištění prostorové tuhosti objektu jsou některé stropní trámy kotveny ke zdi ocelovými kotvami připevněnými z boku na trám v místě zhlaví. V dřívějších dobách se pro tuto funkci používaly tzv. trámové kleště zakotvené prostřednictvím závlače do vnějšího líce obvodové zdi (viz. Obrázek 6) [8]. Trámové kleště bývaly zhotoveny z ocelové pásoviny a zasahovaly až 500 mm na stropnici, ke které bývaly připevněny hřeby nebo vruty [8].



Obrázek 6 - zakotvení dř. trámu do zdi pomocí trámových kleští - zdroj [8]

1 – stropní trám; 2 — impregnovaný podkladek;

3 – ocelové kleštinové táhlo z pásové oceli; 4 – ocelová závlač

U starších objektů se často setkáváme s nejvíce porušenými zhlavími trámů právě v místech, kde jsou osazeny trámové kleště. Důvodem je kondenzace vodní páry na chladném povrchu trámových kleští v zimním období. Zkondenzovaná pára způsobuje korozi oceli a zvýšení vlhkosti ve zhlaví trámu a tím aktivuje nebo urychluje hnilobu, výskyt dřevokazných hub nebo dřevokazného hmyzu. [8]

Existují však i mírně odlišné způsoby zajištění prostorové tuhosti objektu. Jeden z nich je patrný z následujícího obrázku (viz. Obrázek 7). Je zde sice opět použita ocelová pásovina, ta je však již do zdiva kotvena na šikmo, neprochází přímo k vnějšímu líci zdiva a úplně se vyhýbá prostoru trámové kapsy. Při tomto řešení tedy nedochází v zimním období k přenosu chladu ocelovým táhlem přímo do prostoru trámové kapsy, což lze považovat za výhodu. Subjektivně však lze vyjádřit určité pochybnosti nad tuhostí takového kotvení, které patrně může umožňovat relativně větší vodorovnou deformaci, že zmíněné trámové kleště.



Obrázek 7 - fotografie opraveného stropního trámu v místě trámové kapsy se specifickým kotvením - zdroj [12]

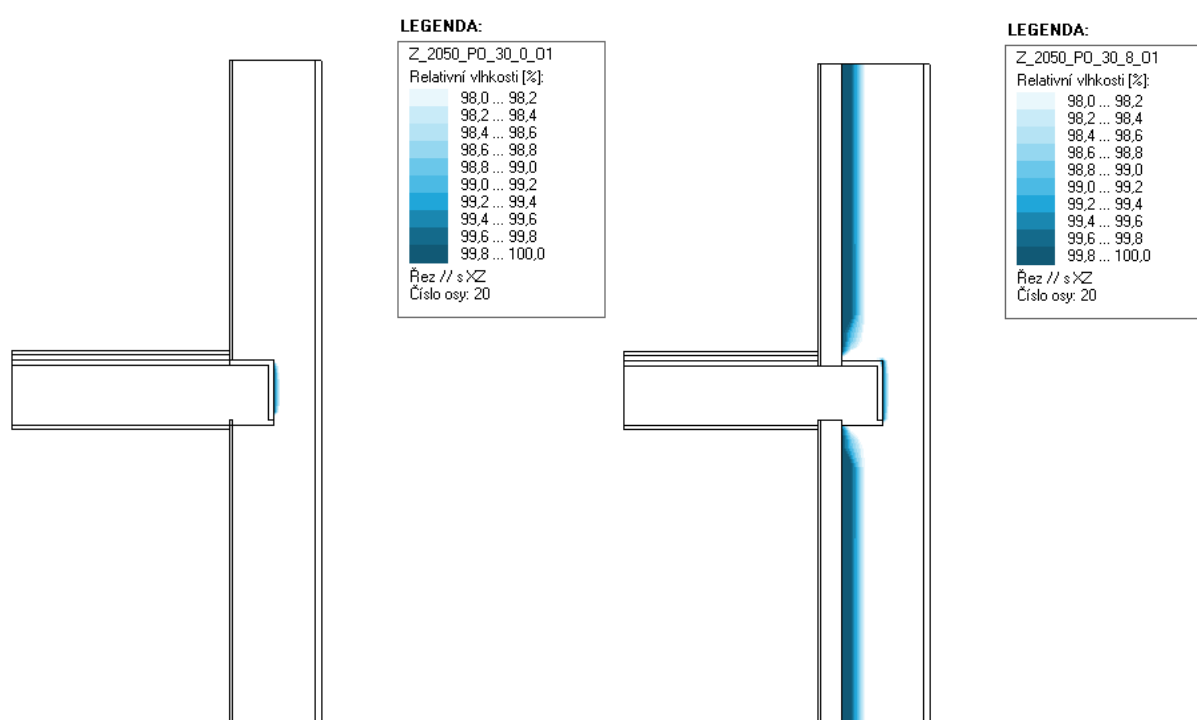
Z tohoto obrázku je také do jisté míry patrný jeden z možných způsobů sanace poškozeného trámového zhlaví. Jedná se patrně o spoj přeplátováním s šikmým rozhraním mezi novým a starým dřevem a zajištěním dřevěnými kolíky, či kovovými prvky krytými dřevěnými zátkami.

1.4.2 Problematika trámových kapes v kontextu vnitřního zateplení

Obyvatelé starších domů, kde jsou dřevěné trámové stropy, si většinou neuvědomují, jaký vliv má jejich bydlení na stropní konstrukci. To může vést k výrazným poruchám, tedy i uhnívání zhlaví trámů a následně k finančně velice náročným rekonstrukcím [11]. Vedle statického působení smykových sil v uložení na trám působí tepelně vlhkostní namáhání. V tomto místě je tepelná vazba mezi obvodovou stěnou a stropem. Navíc v místě zhlaví trámu je obvodová zeď zeslabena o kapsu pro uložení trámu, je zde vytvořen bodový tepelný most [11]. V případě, že je u takových objektů aplikováno zateplení z vnitřní strany obvodových konstrukcí, jsou rovněž kladeny značné nároky na správné provedení detailů. Vnitřní zateplení, jak už bylo zmíněno v podkapitolách 1.3.1 a 1.3.3, zásadně mění průběh teplot v příčném řezu obvodovou konstrukcí. V místě trámové kapsy mohou mít tyto změny za následek snížení teploty, které může v tomto citlivém detailu vést ke kondenzaci vodní páry

procházející konstrukcí. Takové změny v tepelně vlhkostním režimu mají zpravidla negativní vliv na životnost použitých materiálů a hygienu okolního prostředí.

Na následujícím obrázku (viz. Obrázek 8) vidíme srovnání předpokládaných oblastí kondenzace pro nezateplenou stěnu (vlevo) a stěnu s vnitřním zateplením pomocí dřevovláknité tepelné izolace v tloušťce 80 mm. Z tohoto obrázku je patrné, že se aplikací vnitřního zateplení došlo k výraznému zhoršení situaci týkající se kondenzace v rovině původního vnitřního líce stěny. Za daných okrajových podmínek nedošlo k zásadnímu rozšíření oblasti kondenzace v prostoru trámové kapsy, je patrné pouze malé zvětšení této oblasti.



Obrázek 8 - srovnání předpokládaných kondenzačních zón - zdroj [16b]

vlevo nezateplená stěna, vpravo s vnitřním zateplením dřevovláknitou izolací tl. 80 mm

okrajové podmínky: $t_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $RH_i = 50\%$, $t_e = -1\text{ }^\circ\text{C}$, $RH_e = 84\%$

Formy provedení vnitřního zateplení

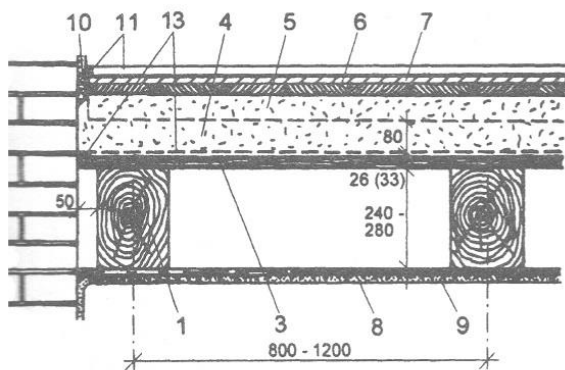
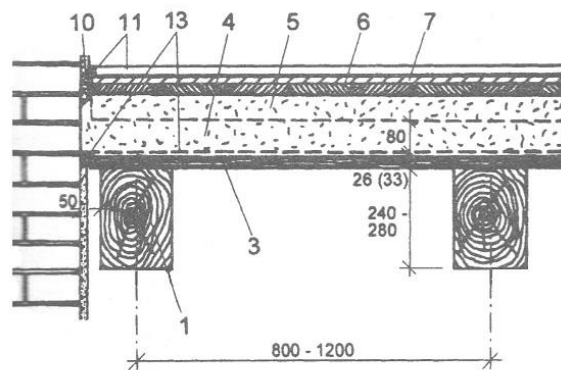
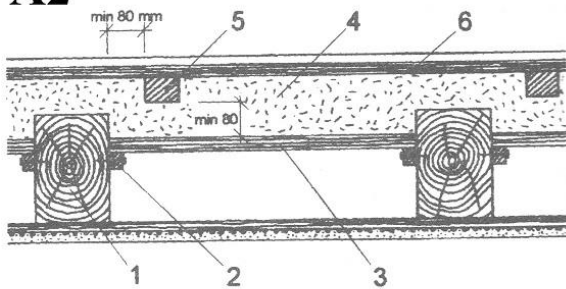
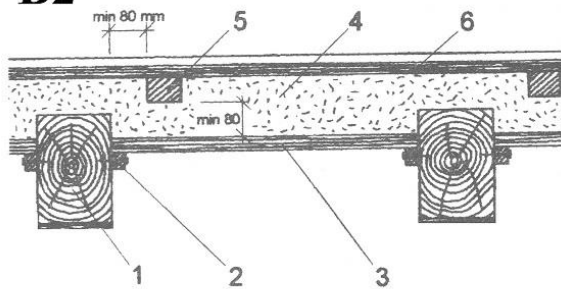
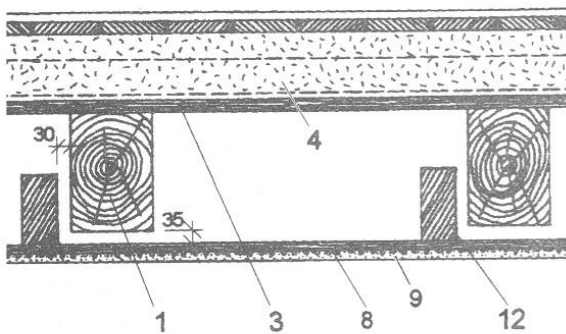
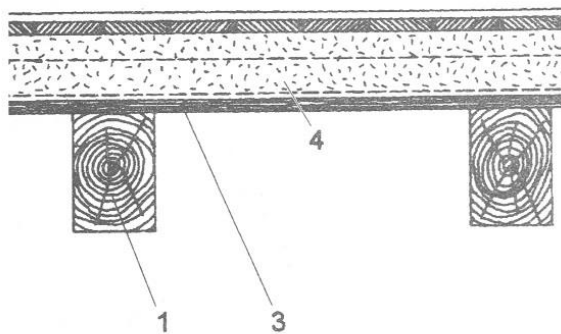
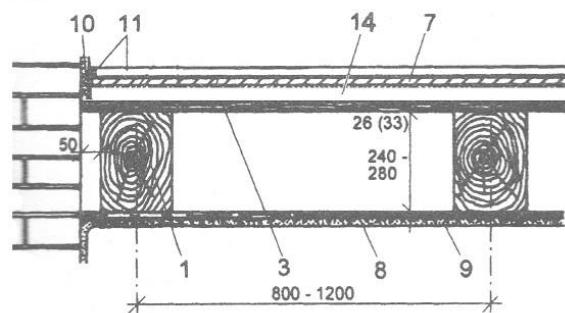
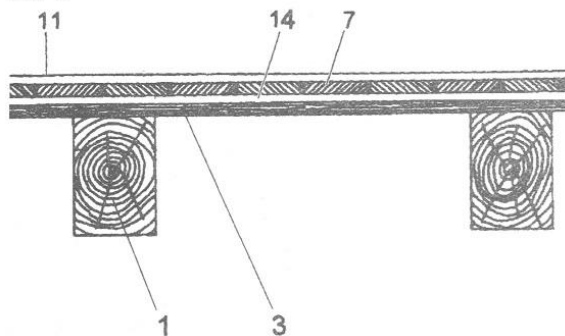
Při rekonstrukcích starších objektů narážíme na různá specifická omezení, ze kterých vyplívá právě i případná potřeba provedení zateplovacího systému ze strany interiéru. I v interiéru na nás ovšem často čekají různá omezení vyplývající mimo jiné například z potřeby zachování provozu v části objektu, specifických požadavků, či finančních možností investora.

Při volbě specifického přístupu k návrhu a provádění vnitřního zateplení historického objektu je třeba si položit otázku, týkající se průběžnosti vnitřního zateplení. Tedy zda vrstva tepelné izolace průběžně prochází skladbou stropní konstrukce, či je pod podhledem přerušena a znovu obnovena až nad hrubou podlahou. Na následující fotografii je pro ilustraci zobrazeno průběžné vnitřní zateplení ve stadiu rozpracování (viz. Obrázek 9). Z fotografie je dobře patrné, že zateplení není v úrovni stropu přerušeno.



Obrázek 9 - provádění vnitřního zateplení - zdroj [5]

Jedním parametrem stropu, který částečně ovlivňuje zvolený přístup k provedení zateplení, je také specifický typ stropní konstrukce. Obrázek 10 (A1 až B4) zobrazuje svislé řezy různými druhy dřevěných trámových stropů, se kterými se můžeme setkat v historických budovách. Z hlediska vnitřního zateplení je důležitým parametrem například druh a tvar podhledu. Na zmíněném obrázku jsou ve sloupci A1 až A4 vyobrazeny řezy různými druhy stropů vybavených rovným podhledem, sloupec B1 až B4 potom zobrazuje ty, které mají pohledové stropní trámy. Druh stropu, který se v objektu vyskytuje, ovlivňuje případnou míru absence tepelného izolantu u neprůběžného zateplení, neboť v případě absence rovného podhledu je z tohoto hlediska skladba stropu tenčí (nižší). Pokud se jedná o stropní konstrukci typu A1 až A4, nebo podobnou, je případná výška vynechaného izolantu větší.

A1**B1****A2****B2****A3****B3****A4****B4**

Obrázek 10 (A1 – B4) – Varianty trámového stropu - zdroj [8]

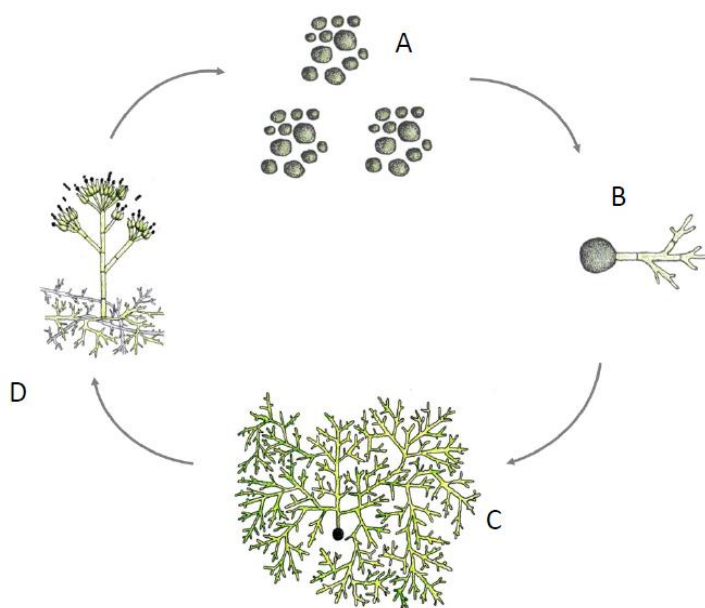
- 1 – stropní trám, 2 – nosná lišta záklopu, 3 – záklop, 4 – násyp, 5 – polštář, 6 – hrubá podlaha,
 7 – čistá podlaha, 8 – podbití z prken, 9 – rákosová omítka, 10 – omítka zdiva,
 11 – podlahová lišta, 12 – rákosník, 13 – krycí lišta spár záklopu, 14 – tlumící podložka

Je však na zvážení, co by obnášelo případné řešení průběžného vnitřního zateplovacího systému. Tato varianta bude vždy vyžadovat náročnější zákrok v podobě odstranění, přinejmenším částí, konstrukcí podlahy a podhledu a nezbytně tak ovlivní provoz v případných několika podlažích objektu nad sebou. Pokud má budova více obývaných podlaží, nemůže být toto řešení v přijatelné kvalitě provedeno například pouze pro jeden byt. U neprůběžného zateplení je v tomto ohledu situace jednodušší.

Riziko růstu plísní

Zásadním problémem, týkajícím se prostoru trámových kapes v obvodových zděných stěnách s dodatečným vnitřním zateplením, může být růst plísní. Plísně žijí na površích materiálů a produkují spory šířící se vzduchem do okolního prostředí.

Plísňové houby jsou široce rozšířeny v různých prostředích na celé Zemi a neexistuje žádné přirozené místo, kde by vzduch nebo hmoty neobsahovaly jejich spory. Pokud jsou přítomny příznivé podmínky, spory (nazývané také konidie) klíčí a vytvoří se malá zárodečná trubice; pokud převládají příznivé podmínky, vytvoří se hypha. Hypha je buněčná struktura, která vyrůstá z původní spory. Trvalým větvením během růstu tvoří hyphy mycelium. Nakonec se z hyph vyvinou, složitější struktury (conidiophory), ty následně produkují spory, které se opět rozptýlí do okolí. Tento životní cyklus je prezentován na následujícím obrázku (viz. Obrázek 11). [13]



Obrázek 11 - životní cyklus plísně – zdroj [13]

A – spory, B – hypha, C – mycelium, D – conidiophory

Hlavními faktory prostředí ovlivňujícími růst plísní ve stavebních konstrukcích jsou vlhkost a teplota vlhkost je rozhodujícím faktorem. Vhodné podmínky pro růst a reprodukci různých hub plísní se liší. Někteří se daří při relativně nízké relativní vlhkosti (RH = 75 %), zatímco většina hub vyžaduje vyšší hodnoty RH (90 až 95 %) pro optimální růst teploty místnosti. [13] Pro účely srovnání a posouzení jednotlivých variant opatření, souvisejících s problematikou trémových kapes, dále v této práci, byla zvolena mezní hodnota RH = 85 %, kterou lze považovat za jakousi střední hodnotu.

Různé stavební materiály mají odlišnou náchylnost k růstu plísní. Některé mohou odolávat vysokému obsahu relativní vlhkosti lépe než jiné. Růst plísní je výsledkem komplexní interakce mezi všemi těmito faktory, ať už se jedná o specifické prostředí a dobu trvání podmínek, materiálové vlastnosti a vlastnosti konkrétních druhů plísní. [14]

2 Studie na stacionárním 2D modelu

Jako součást diplomové práce byla provedena výpočtová studie tepelně vlhkostního chování řešeného detailu na stacionárním dvourozměrném modelu, k čemuž byl využit software Area 2017, a to jak ve studentské EDU verzi, tak v plné verzi prostřednictvím virtuálních učeben, tedy dálkového přístupu k výpočetní technice v místnosti A534.

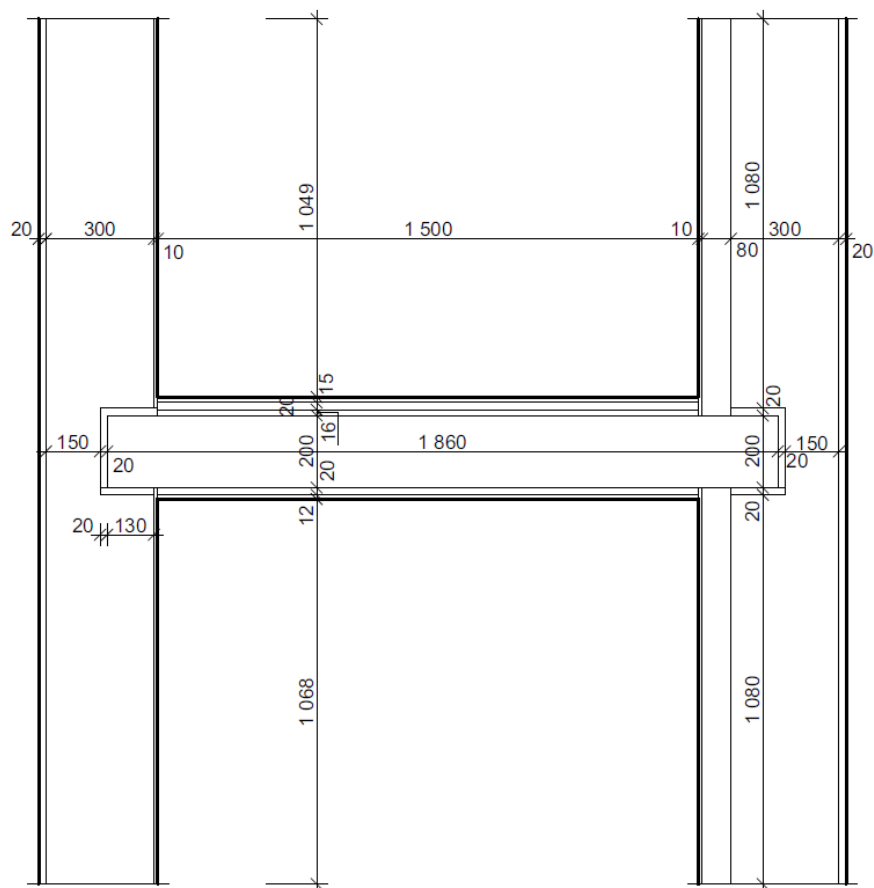
2.1 Popis modelu

2.1.1 Geometrie modelu

Použitý 2D výpočetní model odpovídá dvourozměrnému grafickému zobrazení svislého řezu stropní konstrukcí dřevěného trémového stropu, umístěného mezi dvojicí obvodových stěn z cihelného zdiva. Fakt, že se jedná o dvourozměrný model, je zcela zásadní a vytváří jistá omezení. Není například možné geometricky namodelovat specifické varianty, zohledňující průběžnost či neprůběžnost vnitřního zateplení, nebo různá specifická opatření. Trémová zhlaví jsou osazena do kapes v obvodovém zdivu, v kapsách je uvažována vzduchová mezera 20 mm mezi povrchem trému a zdivem, trámy jsou v kapsách usazeny na podložkách z překližky tl. 20 mm. Obvodová zděná stěna, umístěná v popisovaném modelu vlevo, je nezateplená. Protější obvodová zděná stěna, umístěná vpravo, je opatřena vnitřním zateplením dřevovláknitou izolací. Toto pojetí geometrie modelu umožňuje přehledně srovnat starý a nový stav řešené vzorové konstrukce. Jednotlivé modifikace modelu jsou uvedeny v kapitole 2.1.6 Řešené varianty a včetně výsledků podrobněji popsány v podkapitolách kapitoly 2.3 Výsledky pro jednotlivé .

Obrázek 12 - Rozměrový náčrt modelu zobrazuje výchozí provedení modelu s tloušťkou cihelného zdiva 300 mm, vnitřním zateplením tloušťky 80 mm a SDK pohledem.

Při řešení modelu bylo využito materiálové databáze programu Area 2017.



Obrázek 12 - Rozměrový náčrt modelu [mm]

2.1.2 Vlastnosti materiálů

Ve výpočetním modelu, použitém pro srovnání jednotlivých variant, byla využita materiálová databáze programu AREA 2017. Vlastnosti použitých materiálů jsou uvedeny v tabulce (viz. Tabulka 1).

Svislé nosné konstrukce jsou zděné z cihel plných pálených, dále je na nich použito vápenocementových omítek případně také vnitřního zateplení dřevovláknitou izolací.

Vodorovná stropní konstrukce se skládá z nosného dřevěného trámu, konstrukce podlahy a případně také podhledu. Podlaha je složena z dřevěné krytiny kladené na podložku Ethafoam a OSB desky. Podhled je pak proveden jako sádrokartonový a skládá se z dřevěných prken a sádrokartonových desek.

Ve vlastním detailu trámové kapsy je vložena podložka z překližky tl. 20 mm. Zhlaví je obklopeno ze čtyř stran vzduchovou mezerou tl. 20 mm. U některých variant je provedeno zalepení trámové kapsy parotěsnicí páskou, ta je však pro zjednodušení modelována v tloušťce 2 mm, která neodpovídá reálnému materiálu, bylo proto přistoupeno k úpravě hodnoty faktoru difúzního odporu μ [-], tak aby ve výsledku vycházela odpovídající

ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]. (*)V tabulce je uvedena hodnota $\mu = 22\,500$, která odpovídá právě pro zmíněnou tloušťku 2 mm.

Tabulka 1 - Materiálové charakteristiky modelu – zdroj [15a]

Název materiálu	Součinitel tep. vodivosti λ [W/(mK)]	Faktor dif. odporu μ [-]
Zdivo CPP	0,800	8,5
Omítka vápenocementová	0,990	19,0
Dřevovláknitá iz. STEICO threm	0,041	5,0
Dřevo měkké (tok rov. s vlákny)	0,410	4,5
Dřevo měkké (tok kol. na vlákna)	0,180	157,0
Dřevo tvrdé (tok kol. na vlákna)	0,220	157,0
Ethafoam	0,041	4000,0
OSB deska	0,130	50,0
SDK deska	0,220	9,0
Parotěsnicí páska	0,400	22 500,0*

2.1.3 Vnitřní okrajové podmínky

Vnitřní okrajové podmínky jsou rozdílné pro jednotlivé varianty. Byly zvoleny s ohledem na komfort uživatelů tedy obvyklý stav, respektive přizpůsobeny pro názorné předvedení vlivu jejich poklesu na zkoumané veličiny.

Jednotlivé použité vnitřní okrajové podmínky jsou uvedeny v následující tabulce (viz. Tabulka 2), jejich označení odkazuje na část níže uvedeného kódu pro označení jednotlivých variant modelu.

Tabulka 2 - vnitřní okrajové podmínky

Označení sady okr. podmínek	Teplota vnitřního vzduchu t_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _i [%]
2050	20	50
2360	23	60

2.1.4 Vnější okrajové podmínky

Vnější okrajové podmínky jsou použity pouze v jedné konkrétní variantě, odlišné jsou pouze u validačních variant. Byly zvoleny s ohledem na průměrné venkovní teploty v zimním období, zjištěné při experimentu probíhajícím v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT na Buštěhradě. Okrajové podmínky jsou uvedeny v následující tabulce (viz. Tabulka 3). Označení okrajových podmínek není uvedeno, s ohledem na jejich shodnost u všech zkoumaných variant modelu.

Tabulka 3 - vnější okrajové podmínky

Označení sady okr. podmínek	Teplota vnitřního vzduchu t_e [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_e [%]
-	-1	84

2.1.5 Způsob vyhodnocení výsledků

Výsledky jsou prezentovány formou grafických výstupů z programu AREA 2017 a dalších, na jejich základě zhotovených, diagramů. Vzhledem k povaze použitého softwaru, který pracuje se stacionárním dvourozměrným modelem, je nutno brát v potaz určitá specifika a nepřesnosti z toho vyplývající. Veškeré výstupy tak slouží především ke srovnání zpracovávaných variant mezi sebou, nikoli pro získání přesných dat předpovídajících chování v reálném trojrozměrném detailu. To však nebrání získání obecného přehledu o dopadu změněných vstupních parametrů či modifikací na podmínky v prostoru trámového zhlaví.

Při porovnávání jednotlivých variant bylo zvoleno dvou srovnávacích postupů, za prvé vizuálního srovnání oblastí kondenzace pro různé varianty 2D modelu na samostatných obrázcích a za druhé srovnání vzájemné polohy izolinií $RH = 85 \%$ vždy na jednom obrázku pro danou podkapitolu. Na těchto diagramech jsou jednotlivé izoliny, odpovídající konkrétním variantám modelu, pro názornost barevně odlišeny. Klíč, tedy legenda přiřazující jednotlivým variantám konkrétní barvy, je vždy součástí daného obrázku. Pokud je konkrétní varianta zobrazována v několika různých podkapitolách, buď jako hlavní srovnávaná, či jako referenční, není zaručeno, že bude všude zobrazena stejnou barvou. Je tedy nezbytné věnovat vždy pozornost přímo legendě na daném diagramu.

Na základě grafických výstupů bylo sepsáno slovní hodnocení zobrazených informací. Toto hodnocení se v každé příslušné podkapitole, reprezentující několik variant srovnávaných z hlediska konkrétního měnicího se parametru (tedy například vnitřních okrajových

podmínek), dále dělí na dvě další nečíslované podkapitoly. Tyto jsou nadepsané „Výsledky“ a „Interpretace výsledků“. První zmíněná přímo obsahuje výše zmíněné grafické výstupy a má za úkol deskriptivně popsat, co je na nich zobrazeno. Druhá zmíněná pak slouží, jak už sám název napovídá, k interpretaci výsledků. V této části je kladen důraz na vyhodnocení dopadů měnících se parametrů modelu, tedy parametrů jednotlivých variant, na praktické stránky věci, tedy především na růst plísní v prostoru trémové kapsy a případného rizika degradace trémového zhlaví.

2.1.6 Řešené varianty

Při řešení stacionárního 2D modelu bylo zpracováno větší množství variant, které jsou uvedeny tabulce na konci této podkapitoly (viz. Tabulka 4 - vytvořené a řešené varianty 2D modelu). V seznamu jsou uvedeny všechny zpracované varianty, z nichž některé se neukázaly pro účely této práce jako reprezentativní a nejsou v ní dále nijak zmíněny, řešené varianty, jejichž problematika je dále komentována a jsou vzájemně porovnávány, jsou ve sloupci „Výskyt v podkap.“ označeny příslušnou podkapitolou, případně podkapitolami, ve kterých se vyskytují. Při volbě variant bylo v různé míře zohledněno několik proměnných faktorů, které mají vliv na výsledné podmínky v trémové kapse. Jedná se jak o vliv okolního prostředí, tak o různé materiálové či geometrické modifikace modelu.

Pro přehlednější orientaci byl vytvořen systém pojmenování různých zpracovaných variant, respektive souborů programu Area. Název každé zpracované varianty se skládá ze 17 až 26 znaků včetně oddělovacích podtržítok a formou zkratk v sobě obsahuje informace o specifických proměnných faktorech zohledněných v dané variantě modelu. Následujících několik odstavců na zvolených příkladech přibližuje daný systém pojmenování a význam jednotlivých částí názvu.

Příklad č. 1:

z_2050_po_30_8_o1

Zde je použito základních 17 znaků. První písmeno „z“ znamená zhlaví, za podtržítkem následuje čtyřmístný číselný kód „2050“, který označuje vnitřní okrajové podmínky dané varianty, zde tedy vnitřní teplotu 20 °C a relativní vlhkost 50 %. Tato část může být také nahrazena označením „vali“, pro které okrajové podmínky odpovídají podmínkám naměřeným při experimentu v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT.

Následující dvojice písmen „po“ odkazuje na konstrukční řešení podhledu stropní konstrukce. Zde se jedná o variantu s rovným podhledem, s opláštěním sádkartonovými

deskami, alternativně může být použito označení „be“ označující variantu bez sádrokartonového podhledu, tedy s viditelnými trámy.

Dále uvedený číselný kód „30_8“ se vztahuje ke geometrii svislých konstrukcí. Jedná se o uvedení tloušťky hlavních prvků skladby v [cm]. První dvoumístné číslo odpovídá tloušťce cihelného zdiva 30 cm, druhé jednomístné se vztahuje pouze ke konstrukci na pravé straně modelu a značí tloušťku dřevovláknité izolace vnitřního zateplení, zde tedy 8 cm.

Poslední část kódu „o1“ je vyhrazena pro označení varianty vnitřní omítky.

Příklad č. 2:

z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10

Zde je použito 26 znaků, přičemž prvních 17 je totožných s příkladem č. 1, bude tedy popsáno pouze 9 doplňkových znaků. Tento název varianty se vztahuje k použití parotěsné pásky k zalepení trámové kapsy, alfanumerické označení „z1“ zde vyjadřuje zalepení v úrovni povrchu zdiva, alternativně může být použito označení „i1“, které označuje zalepení páskou v úrovni povrchu vnitřní tepelné izolace orientovaného směrem do interiéru. Číslice „1“ je vyhrazena pro případné odlišení různých typů pásky.

Poslední část kódu „10_10“ je vyjadřuje rozměry, tedy šířku pásky uvedenou v [cm]. První část znázorňuje vodorovný rozměr (ve směru osy x), zde konkrétně 10 cm a může být alternativně nahrazena i písmeny „ce“, označujícími zalepení trámy po celé délce rozponu stropní konstrukce. Druhá část znázorňuje svislý rozměr (ve směru osy y), zde opět konkrétně 10 cm.

Tabulka 4 - vytvořené a řešené varianty 2D modelu

Označení varianty	Výskyt v podkap.	Poznámka
z_vali_po_30_8_o1	2.2	Validační
z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05	2.2	Validační se zalepením
z_2050_be_30_8_o1		S pohledovými trámy
z_2050_po_30_8_o1	2.3.1; 2.3.2; 2.3.3 2.3.4; 2.3.6	Často užitá jako referenční
z_2360_be_30_8_o1		S pohledovými trámy
z_2360_po_30_8_o1	2.3.1	
z_2050_po_45_4_o1		Zdivo tl. 450 mm
z_2050_po_45_6_o1		Zdivo tl. 450 mm
z_2050_po_45_8_o1	2.3.6	Zdivo tl. 450 mm
z_2050_po_30_8_o1_i1_05_05		
z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10	2.3.2; 2.3.4	
z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25	2.3.4	
z_2050_po_30_8_o1_i1_17_10		
z_2050_po_30_8_o1_i1_25_10	2.3.4	
z_2050_po_30_8_o1_i1_42_10		
z_2050_po_30_8_o1_i1_ce_10		
z_2050_po_30_8_o1_z1_05_05		
z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10	2.3.2; 2.3.3	
z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25	2.3.3	
z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25_xps		
z_2050_po_30_8_o1_z1_25_10	2.3.3	
z_2050_po_30_8_o1_z1_50_10		
z_2050_po_30_8_o1_z1_ce_10		

2.2 Validace modelu

Pro účely validace použitého modelu bylo přistoupeno ke zpracování jeho variant, které jsou z hlediska geometrie, materiálových parametrů a okrajových podmínek v rámci možností co nejbližší parametrům detailů, zkoumaných v rámci reálného experimentu. Pro tyto účely

byly zpracovány varianty **z_vali_po_30_8_o1** a **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05**, které se liší vnitřními okrajovými podmínkami a zalepením trémové kapsy páskou u druhé zmíněné. V následujících podkapitolách 2.2.1 až 2.2.4 jsou tedy popsány jednotlivé parametry, kterými se tyto validační varianty odchyľují od variant ostatních, které jsou dále blíže popsány podkapitole 2.3 Výsledky pro jednotlivé , která začíná na stránce 38.

2.2.1 Vlastnosti materiálů

Validační varianty se z hlediska materiálového, potažmo geometrického, od ostatních liší především podrobnějším zpracováním skladby vnitřního zateplení, které lépe odpovídá reálnému stavu. Vnitřní zateplení se skládá se dvou odlišných typů desek. Jedná se o dřevovláknité izolační desky UniIN Reco – flexibilní a UniIN Reco – omítací, kde omítací deska je ve skladbě umístěna blíže směrem k interiéru. Tyto dva typy desek mají odlišné základní materiálové charakteristiky. Obě desky mají stejnou tloušťku, tedy 40 mm, což dohromady tvoří souvrství o tloušťce 80 mm. Dále se validační varianty mezi sebou liší pochopitelně tím, že u jedné s nich není použita parotěsnicí páska, zatímco u druhé ano.

Upravený seznam použitých materiálů je uveden v následující tabulce (viz. Tabulka 5), ve které jsou specifické materiály zvýrazněny tučně.

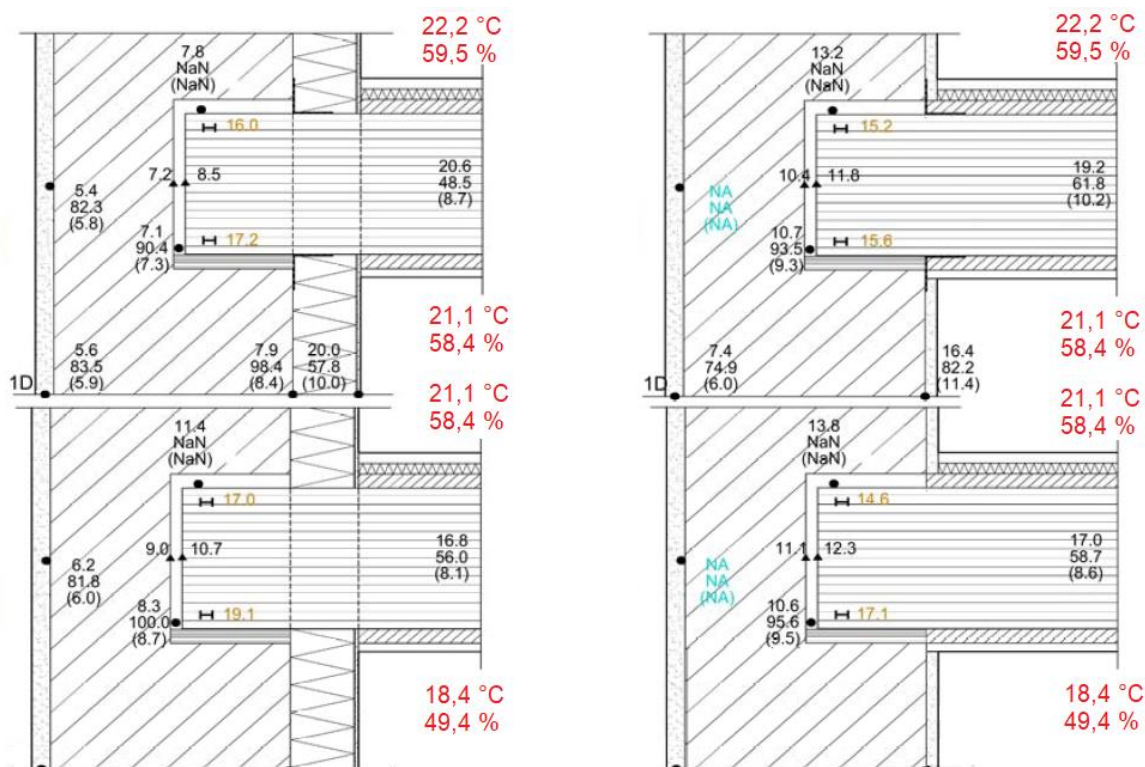
Tabulka 5 - Materiálové charakteristiky validačních variant modelu – zdroj [15a]

Název materiálu	Součinitel tep. vodivosti λ [W/(mK)]	Faktor dif. odporu μ [-]
Zdivo CPP	0,800	8,5
Omítka vápenocementová	0,990	19,0
Dřevovl. iz. d. UniIN Reco – omítací	0,048	5,0
Dřevovl. iz. d. UniIN Reco – flexibilní	0,038	1,0
Dřevo měkké (tok rov. s vlákny)	0,410	4,5
Dřevo měkké (tok kol. na vlákna)	0,180	157,0
Dřevo tvrdé (tok kol. na vlákna)	0,220	157,0
Ethafoam	0,041	4000,0
OSB deska	0,130	50,0
SDK deska	0,220	9,0
Parotěsnicí páska	0,400	22 500,0*

U některých variant je provedeno zalepení trémové kapsy parotěsnící páskou, ta je však opět pro zjednodušení modelována v tloušťce 2 mm, která neodpovídá reálnému materiálu, bylo proto přistoupeno k úpravě hodnoty faktoru difúzního odporu μ [-], tak aby ve výsledku vycházela odpovídající ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]. (*)V tabulce je uvedena hodnota $\mu = 22\ 500$, která odpovídá právě pro zmíněnou tloušťku 2 mm.

2.2.2 Vnitřní okrajové podmínky

Validační varianty modelu jsou z hlediska vnitřních okrajových podmínek oproti ostatním propracovanější. Ostatní varianty zpravidla pracují u dané varianty vždy se stejnými hodnotami t_i a RH_i v celém interiéru. Naproti tomu varianty **z_vali_po_30_8_o1** a **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05** zohledňují hodnoty těchto veličin, které byly v rámci experimentu naměřeny pro jednotlivé konkrétní části interiéru. Hodnoty okrajových podmínek, tedy t_i a RH_i jsou uvedeny červeným písmem na následujícím obrázku (viz. Obrázek 13) a vycházejí z uspořádání trémových kapes v experimentálním stěnovém poli. Na zmíněném obrázku jsou jednotlivé detaily umístěny analogicky vůči reálnému stavu, tedy detaily trémových kapes se zalepením jsou umístěny nad těmi bez zalepení.



Obrázek 13 - vnitřní okrajové podmínky pro validaci – zdroj [5]

Tomuto odpovídá také s výškou rostoucí vnitřní teplota, která je dole pod stropem nezalepeného detailu 18,4 °C, mezi stropy 21,1 °C a nad stropem zalepeného detailu potom 22,2 °C, což bylo zapříčiněno rozložením teploty po výšce místnosti, ve které experiment probíhal.

2.2.3 Vnější okrajové podmínky

Obdobně jako v přechozí vnitřní, jsou i vnější okrajové podmínky přizpůsobeny specifickým hodnotám naměřeným při experimentu. Už se však nejedná o jednotlivé hodnoty, vztažené k určitému místu, ale o fixní údaje, použité jak u **z_vali_po_30_8_o1** tak u **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05** jako okrajové podmínky kompletně pro celý exteriér. Hodnoty pro exteriér t_e a RH_e jsou uvedeny v tabulce níže (viz. Tabulka 6)

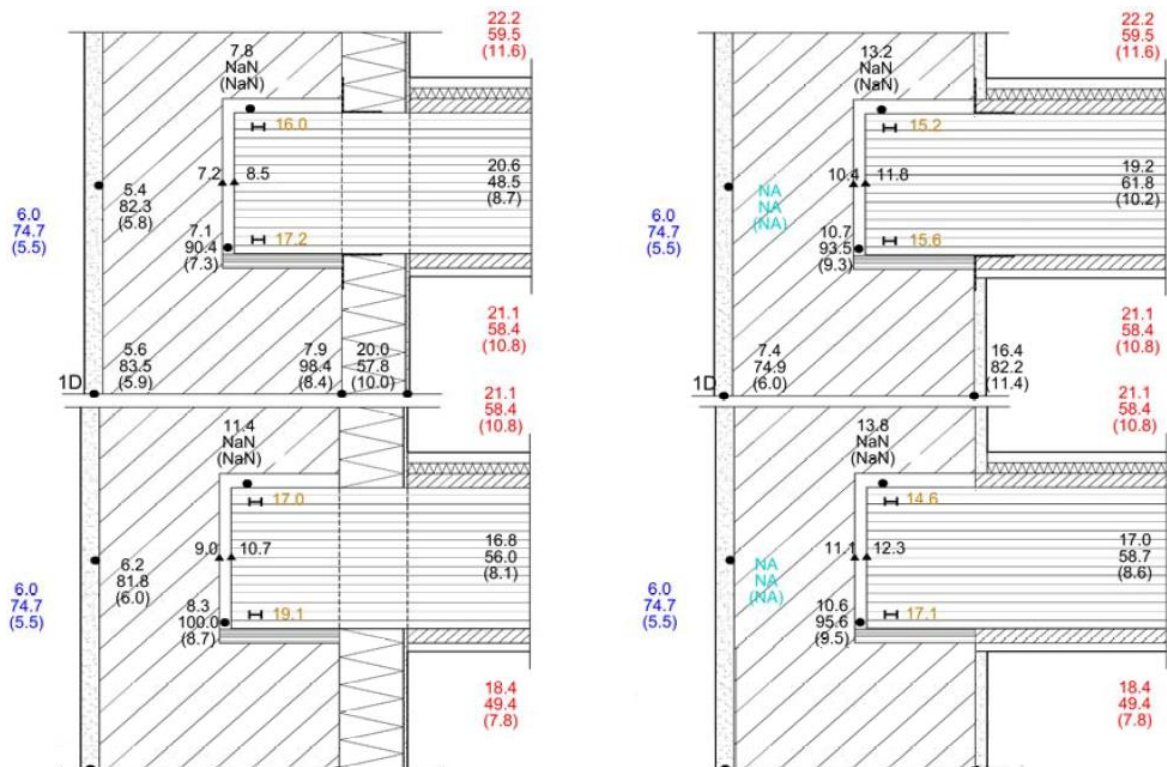
Tabulka 6 - vnější okrajové podmínky – validační

Označení sady okr. podmínek	Teplota vnitřního vzduchu t_e [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_e [%]
-	6,0	74,7

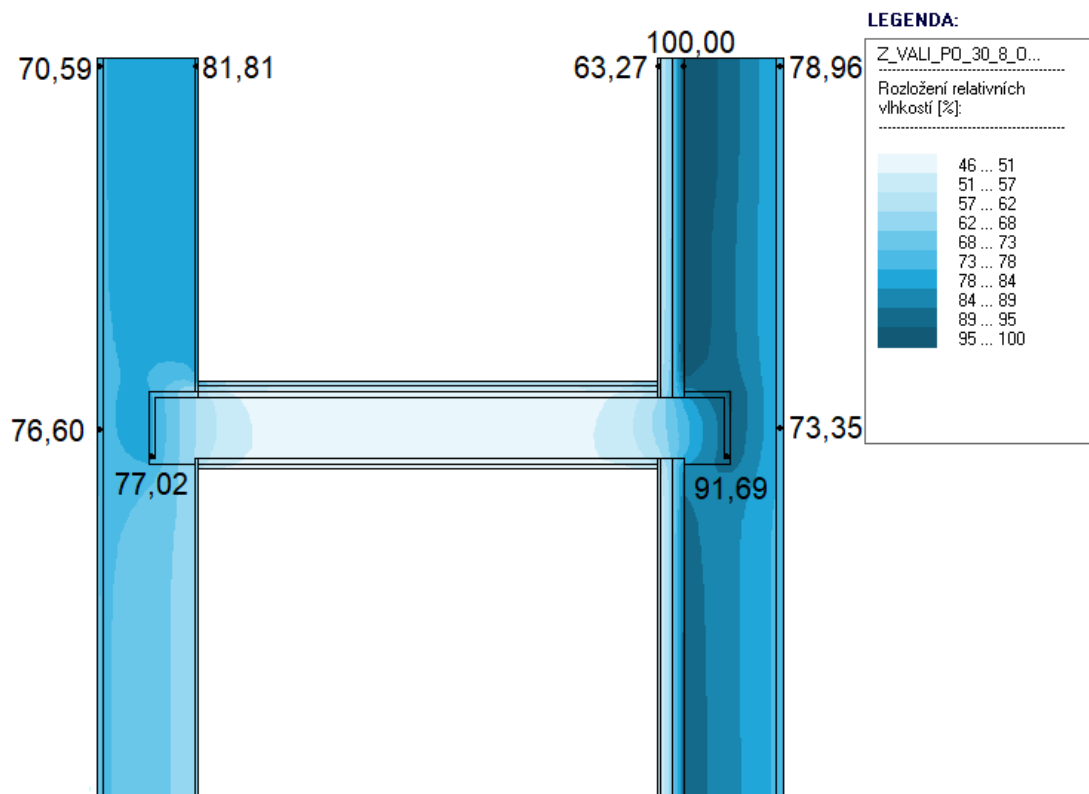
2.2.4 Vyhodnocení výsledků – srovnání s reálným experimentem

Z validačního provedení modelu byly získány výstupy, a to jednak ve formě grafické, ale také z nich přímo pomocí softwaru Area 2017 byly získána číselná data. Kombinací těchto výstupů byly vytvořeny obrázky (viz. Obrázek 15 až Obrázek 18) zobrazující pole relativních vlhkostí a teplot, ve kterých jsou vyznačeny hodnoty těchto veličin v referenčních bodech umožňujících srovnání s výsledky reálného experimentu.

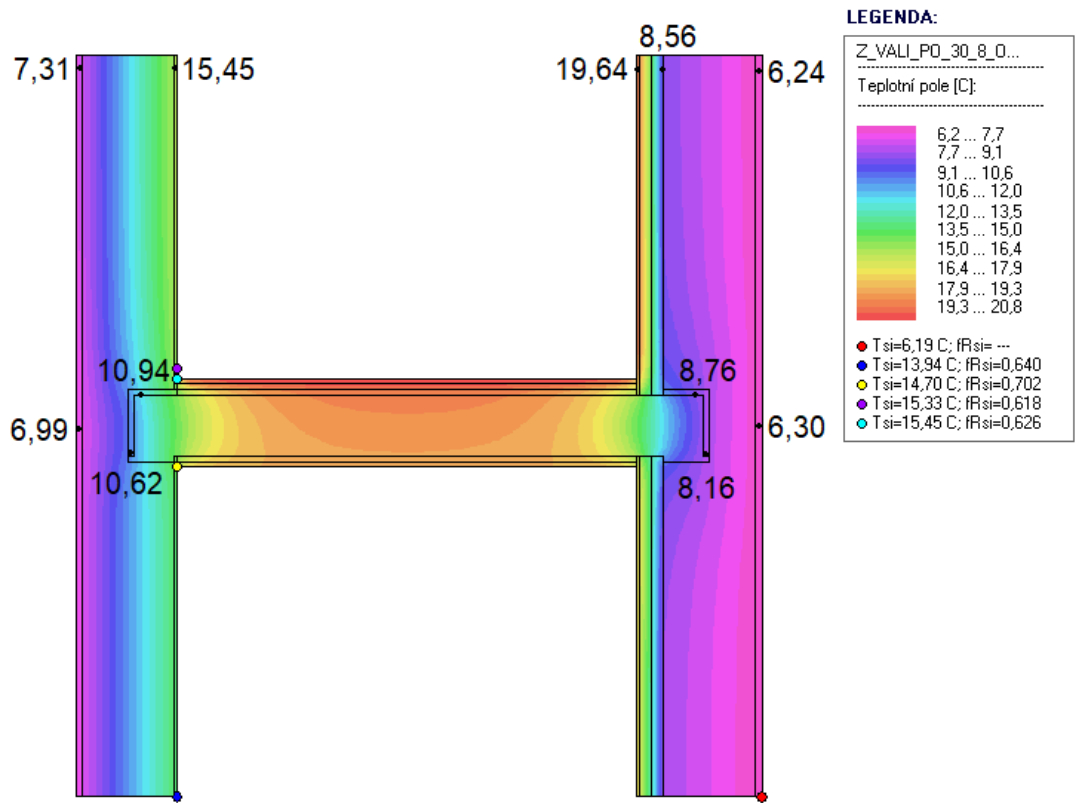
Výsledky experimentálního měření jsou spolu s jeho průměrnými okrajovými podmínkami za dané období oproti výstupům z dvourozměrného stacionárního modelu, zobrazeny mírně odlišnou formou. Na obrázku (viz. Obrázek 14) jsou zobrazeny řezy detailem trámových kapes pro 4 různé varianty experimentu, vlevo je vždy umístěna obvodová stěna, ze které směrem do prava vybíhá stropní konstrukce. Červeným a modrým písmem jsou okrajové podmínky (shora: teplota ve °C, relativní vlhkost v % a koncentrace vodní páry v g/m^3), černě jsou potom ve stejném pořadí uvedeny hodnoty těchto veličin naměřené pomocí senzorů v různých místech detailů, respektive v místě typické skladby konstrukce.



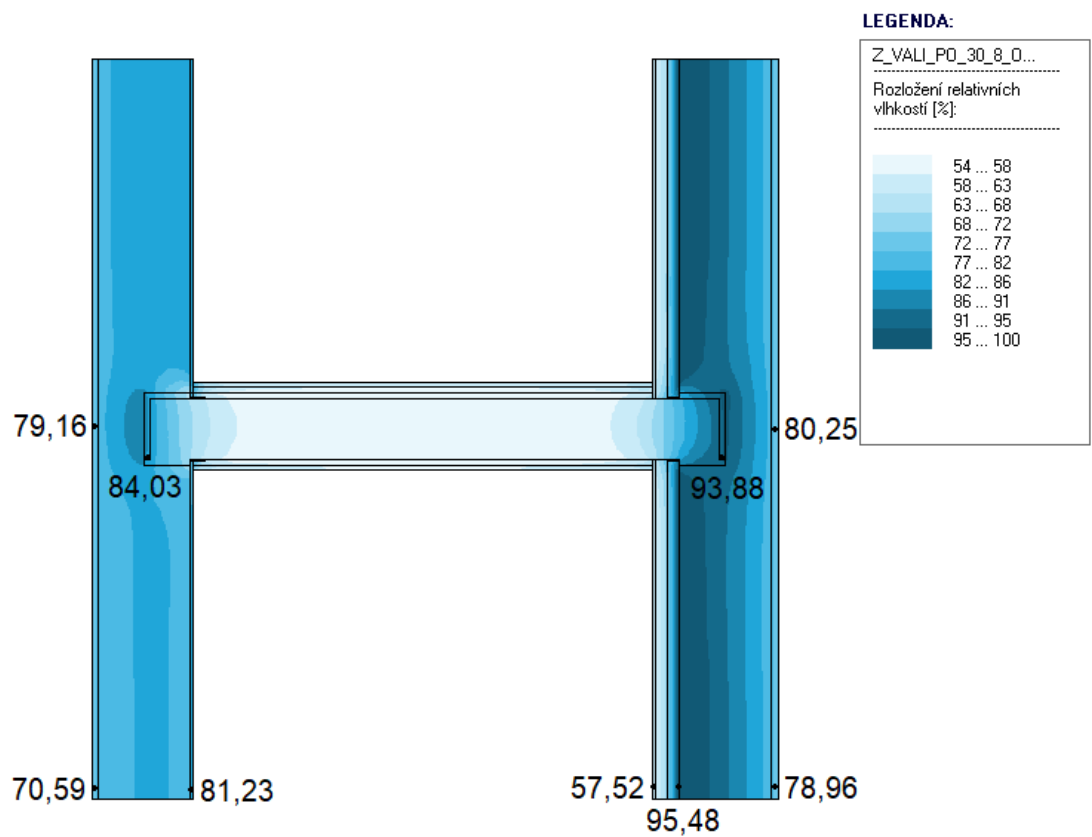
Obrázek 14 - okrajové podmínky experimentu a výsledky měření [°C; %; g/m³] – zdroj [5]



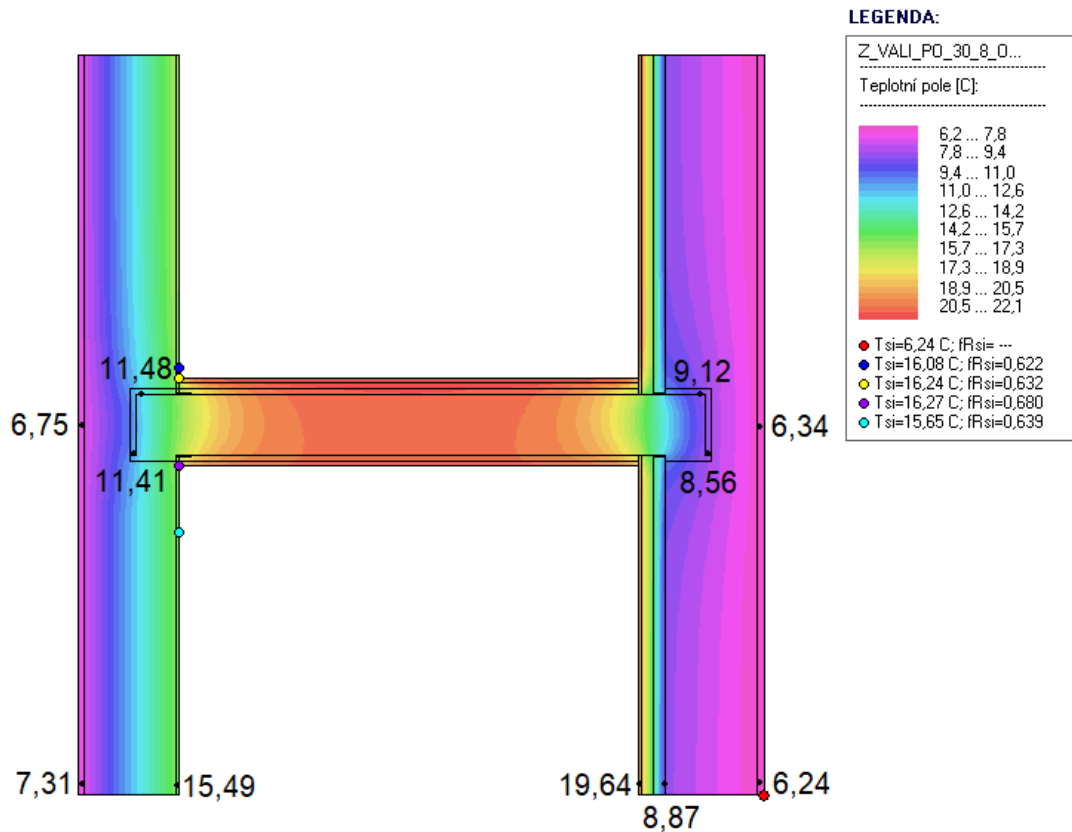
Obrázek 15 - z_vali_po_30_8_o1 - rozložení RH [%] – zdroj [15b]



Obrázek 16 - z_vali_po_30_8_o1 - rozložení teplot [°C] – zdroj [15b]



Obrázek 17 - z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05 - rozložení RH [%] – zdroj [15b]



Obrázek 18 - z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05 - rozložení teplot [°C] – zdroj [15b]

Na základě výše zobrazených výstupů z programu Area 2017 lze částečně porovnat v něm použitý model, respektive jeho výsledky s reálným měřením. Pokud porovnáme výsledky v bodech pole teplot, které jsou umístěné v běžné skladbě stěny, vidíme že rozdíly mezi zalepenou a nezalepenou variantu jsou minimální a tyto hodnoty přibližně odpovídají i hodnotám z reálného experimentu. Pokud stejném srovnání vystavíme hodnoty RH [%] zjištěné v těchto bodech, lze opět konstatovat že se s odchylkou v řádech jednotek % stále blíží hodnotám zjištěným při reálném měření.

Naproti tomu u bodů v prostoru trámové kapsy lze sledovat již větší odchylky, které se prohlubují zvláště u hodnot RH [%]. Z validace v tomto směru obecně hůře vyšly nezateplené stěny, nejhůře pak u varianty bez zalepení páskou, kde odchylky pro hodnoty RH [%] přesahují 10 %.

2.3 Výsledky pro jednotlivé varianty

2.3.1 Vnitřní okrajové podmínky

Pro srovnání vlivu vnitřních okrajových podmínek na podmínky v trémové kapse byly vybrány dvě základní varianty modelu s totožnou geometrií a materiálovou skladbou. Jedná se o variantu **z_2050_po_30_8_o1** zohledňující vnitřní teplotu $t_i = 20\text{ °C}$ a relativní vlhkost vnitřního vzduchu $RH = 50\%$ a variantu **z_2360_po_30_8_o1** zohledňující vnitřní teplotu $t_i = 23\text{ °C}$ a relativní vlhkost vnitřního vzduchu $RH = 60\%$.

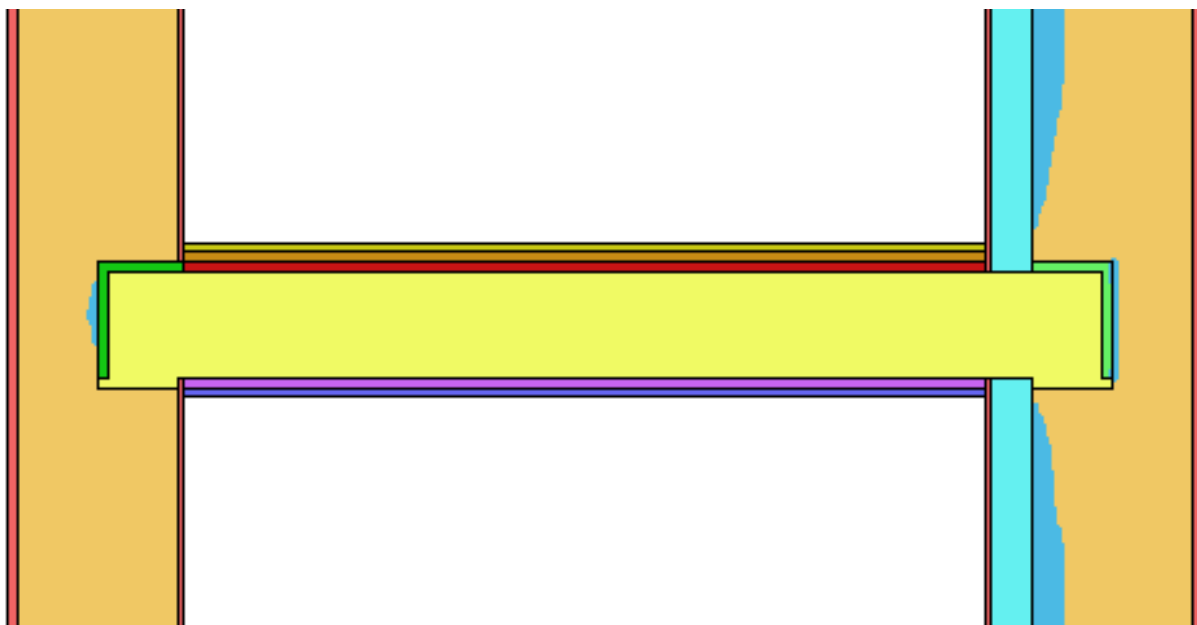
Výsledky

Výpočtem v programu Area 2017 byly pro varianty modelu **z_2050_po_30_8_o1** a **z_2360_po_30_8_o1** získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace (viz. Obrázek 19 a Obrázek 20). Z těchto obrázků jsou patrné rozdíly mezi zkoumanými variantami především v jejich levé části (tj. v nezateplené stěně), kde u varianty s vyšší interiérovou teplotou a relativní vlhkostí vnitřního vzduchu dochází ke kondenzaci uvnitř cihelného zdiva a rovněž je patrná výraznější oblast kondenzace ve zdivu přiléhajícímu k trémovému zhlaví. Naproti tomu v pravé části (tj. v zateplené stěně) nepozorujeme tak zásadní rozdíl v oblastech kondenzace.

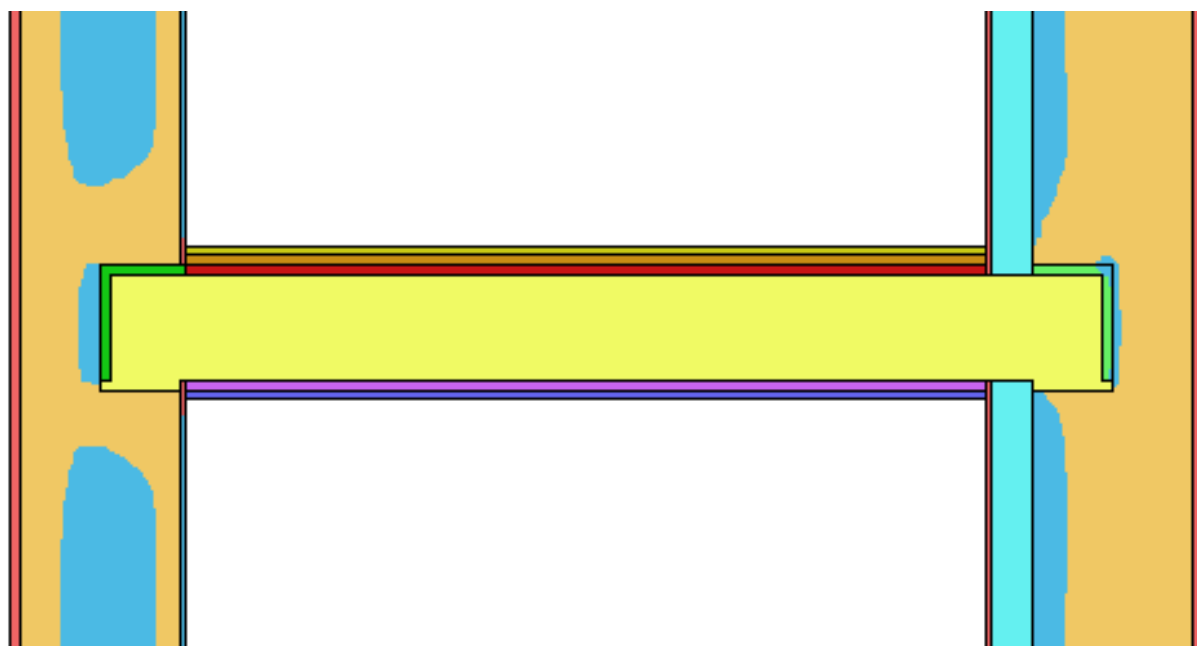
Dále bylo na základě grafických výstupů relativní vlhkosti sestaveno schéma, porovnávající pro obě varianty polohu izolinií relativní vlhkosti $RH = 85\%$ v prostoru trémové kapsy (viz. Obrázek 21). Izolinie pro variantu s nižšími hodnotami t_i a RH_i je znázorněna zelenou barvou, s vyššími pak barvou oranžovou. Všechny popisované izolinie procházejí dřevěným trémem.

V nezateplené stěně je patrný výrazný rozdíl v geometrii průběhu izolinií mezi oběma variantami, kde u var. **z_2050_po_30_8_o1** je průběh méně ovlivněn vlastním detailem trémové kapsy a prochází svisle přibližně v první třetině tloušťky stěny (směrem z interiéru), oproti tomu izolinie pro var. **z_2360_po_30_8_o1** má přibližně tvar neúplného oválu, jehož křivka končí v místech styku vnitřní omítky s podlahou a podhledem.

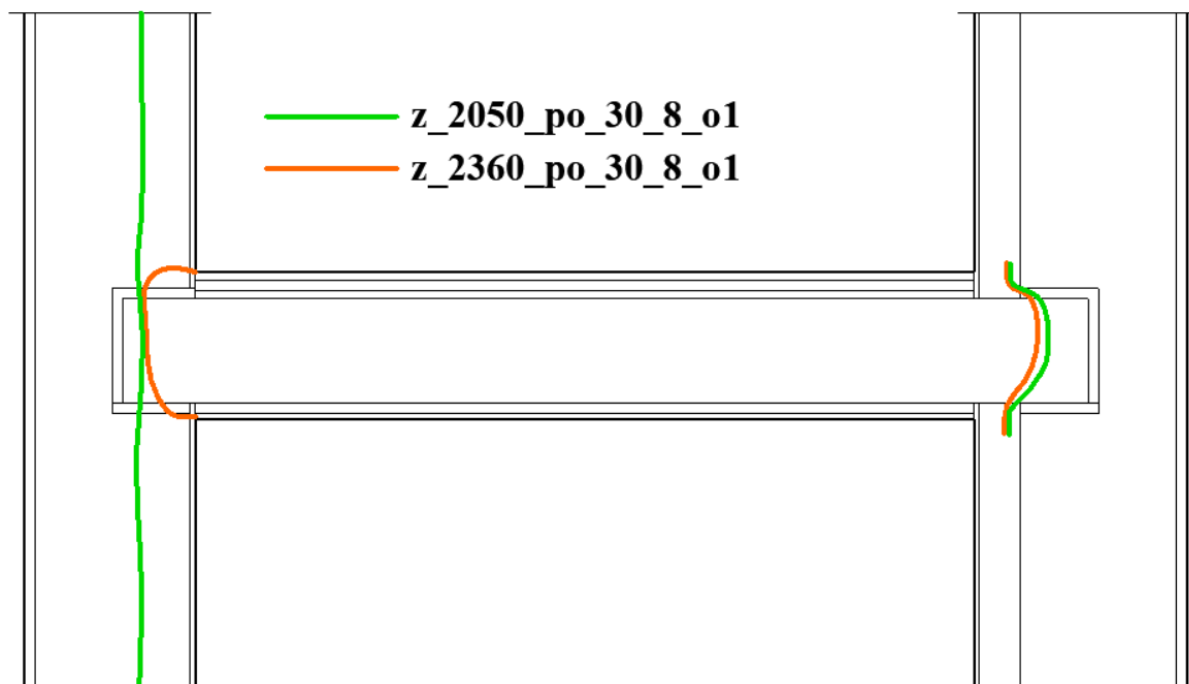
Ve stěně s vnitřním zateplením je průběh obou izolinií vzájemně podobný, rozdíl v geometrii je menší, ale se zvýšením t_i a RH_i došlo k posunu izolinie směrem k interiéru.



Obrázek 19 – Var. z_2050_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 20 - Var. z_2360_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 21 – Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b]

Interpretace výsledků

Při porovnání předpokládaných oblastí kondenzace mezi jednotlivými variantami (viz. Obrázek 19 a Obrázek 20) je možno podotknout, že se zvyšujícími se hodnotami t_i a RH_i dochází k výraznější kondenzaci především ve skladbě nezateplené stěny, a to i v citlivé oblasti trámové kapsy. Z toho lze usuzovat, že varianta obvodové konstrukce bez vnitřního zateplení je náchylnější na změny vnitřních okrajových podmínek. Na základě toho lze pochopitelně říci, že použitím vnitřního zateplení lze v určité míře omezit vliv vnitřních okrajových podmínek na podmínky ve vrstvách skladby obvodových konstrukcí za touto izolací.

Při porovnání obou variant z hlediska polohy izolinií relativní vlhkosti $RH = 85\%$ v prostoru trámové kapsy (viz. Obrázek 21) v první řadě vidíme, že izolinie pro obě zkoumané varianty procházejí vždy prostorem trámové kapsy a také vlastním dřevěným trámem. To znamená, že za zvolených stacionárních podmínek a při použitých opatřeních jsou podmínky v trámové kapse vhodné pro určitou formu degradace dřeva. Tato situace může vést k postupnému růstu plísní na konstrukcích v ohrožené oblasti. Zvýšením hodnot t_i a RH_i došlo k mírnému posunu izolinií směrem k interiéru. Což lze přikládat na vrub právě zvyšující se hodnotě RH_i .

Pro zlepšení podmínek v trémové kapse by bylo, obecně vzato, naopak nutné odsunout tyto izolacie směrem k exteriéru. Prakticky je tedy žádoucí je odsunout do prostoru ležícího mimo trémovou kapsu, či přinejmenším mimo vlastní dřevěný trém. Na základě tohoto je možné konstatovat, že při zvýšení hodnoty RH_i dochází k mírné degradaci trémového zhlaví v oblasti směrem blíže k interiéru a podmínky v trémové kapse jsou tak z hlediska životnosti dřevěných prvků obecně horší.

2.3.2 Zalepení trémové kapsy – poloha těsnící pásky

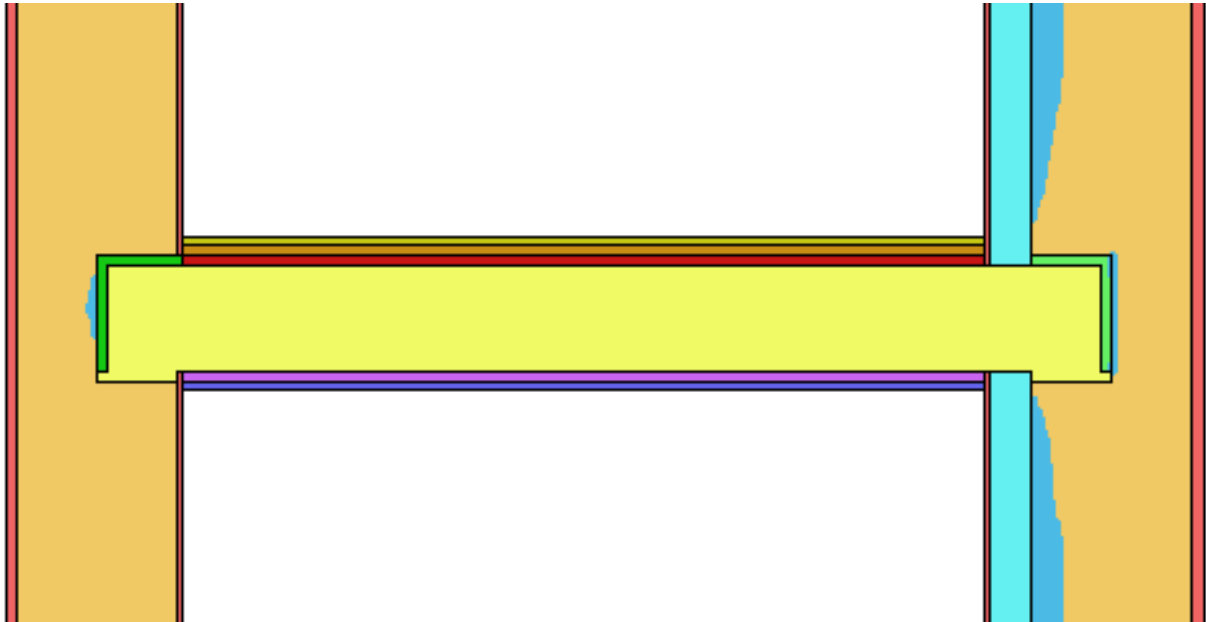
Pro srovnání vlivu umístění těsnící pásky na podmínky v trémové kapse byly vybrány dvě základní varianty modelu s totožnou materiálovou skladbou a okrajovými podmínkami. Jedná se o variantu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** s umístěním těsnící pásky na rozhraní zdiva a vnitřní izolace a variantu **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10** s umístěním těsnící pásky na rozhraní vnitřní izolace a vnitřní omítky. Jako referenční varianta bez zalepení byla použita **z_2050_po_30_8_o1**. Pro levou část detailu je, vzhledem k absenci tepelné izolace, poloha těsnící pásky u obou variant shodná.

Výsledky

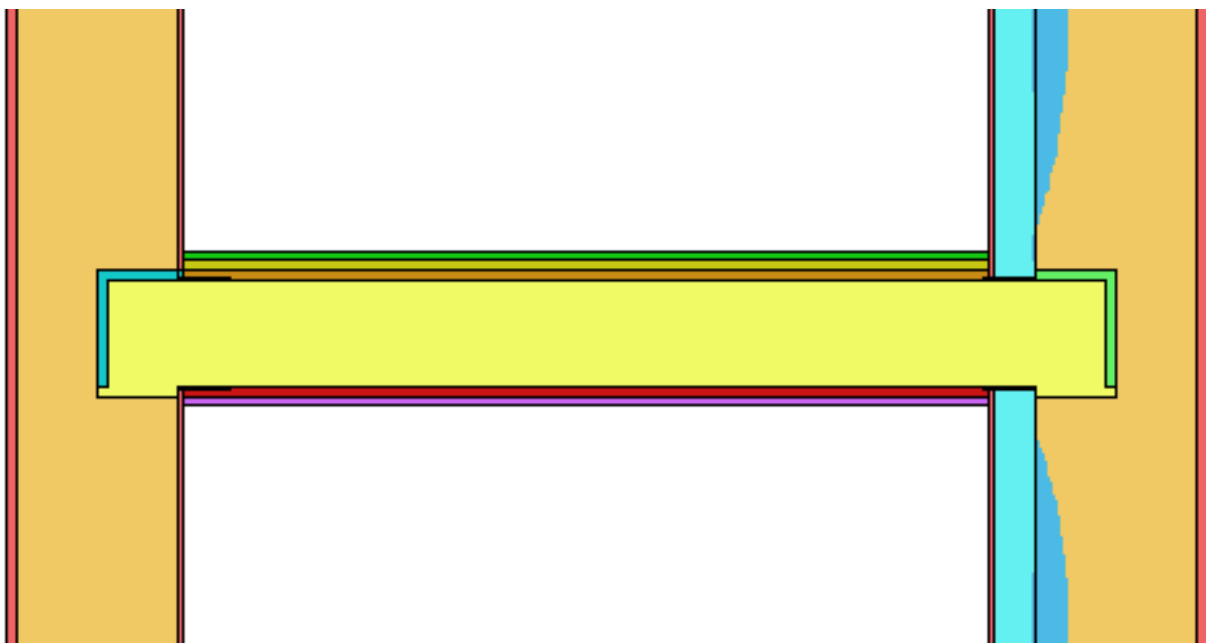
Výpočtem v programu Area 2017 byly pro varianty modelu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** a **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10** získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace (viz. Obrázek 23 a Obrázek 24). Jako referenční varianta bez zalepení byla použita **z_2050_po_30_8_o1** (viz. Obrázek 22). Z těchto obrázků jsou patrné rozdíly mezi zkoumanými variantami prakticky pouze v jejich pravé části (tj. v zateplené stěně), kde u varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** nedochází ke kondenzaci v rovině povrchu zdiva v čele trémové kapsy. Naproti tomu u druhé zkoumané varianty, která se liší polohou těsnící pásky, umístěné v tomto případě na rozhraní vnitřní omítky a tepelné izolace, ke kondenzaci v tomto místě dochází. V levé části obrázků, tedy v nezatepleném zdivu, si můžeme všimnout, že u obou variant se zalepením došlo k vyloučení kondenzace, ke které docházelo u referenční varianty bez zalepení.

Dále bylo na základě grafických výstupů relativní vlhkosti sestaveno schéma, porovnávající pro zmíněné varianty polohu izoliací relativní vlhkosti $RH = 85 \%$ v prostoru trémové kapsy (viz. Obrázek 25), přičemž jako referenční varianta je zde použita **z_2050_po_30_8_o1**. Izolacie pro variantu se zalepením v rovině rozhraní vnitřní omítky a tepelné izolace je znázorněna zelenou barvou, v rovině rozhraní tepelné izolace a zdiva pak

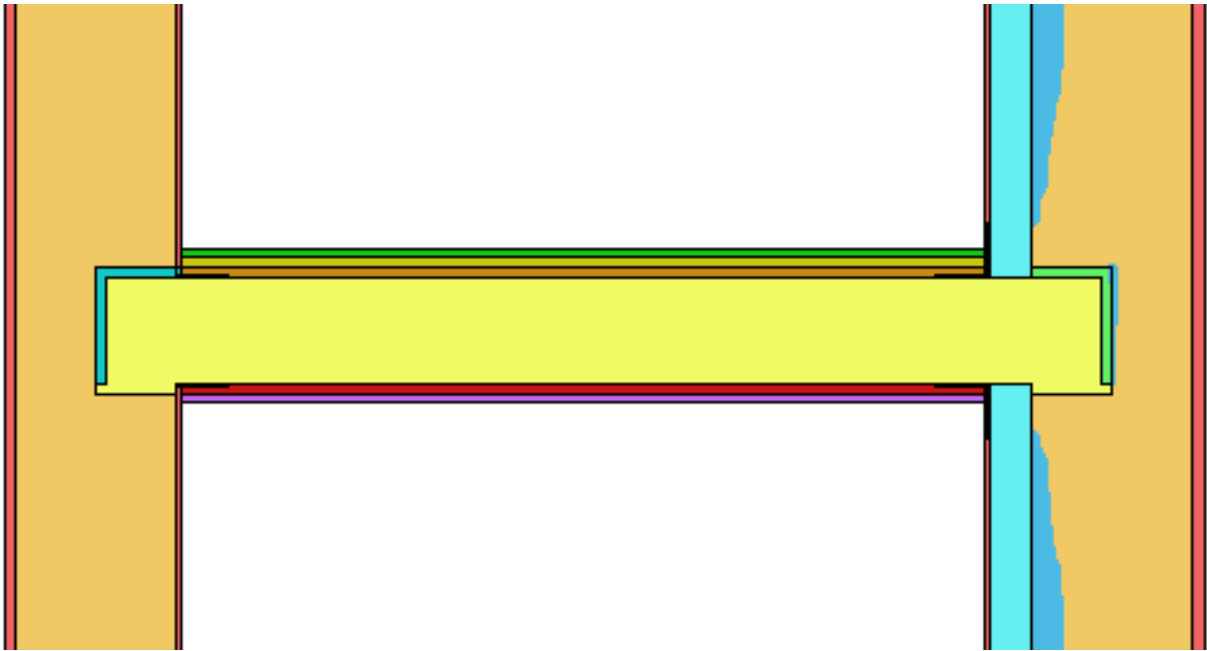
barvou oranžovou. Je-li v některé části průběh izolinií jednotlivých variant vzájemně shodný, je použito překrytí, přičemž vrchní čára je v takovém případě čárkovaná. Referenční varianta bez zalepení je značena modrou barvou. Všechny popisované izolinie procházejí dřevěným trámem.



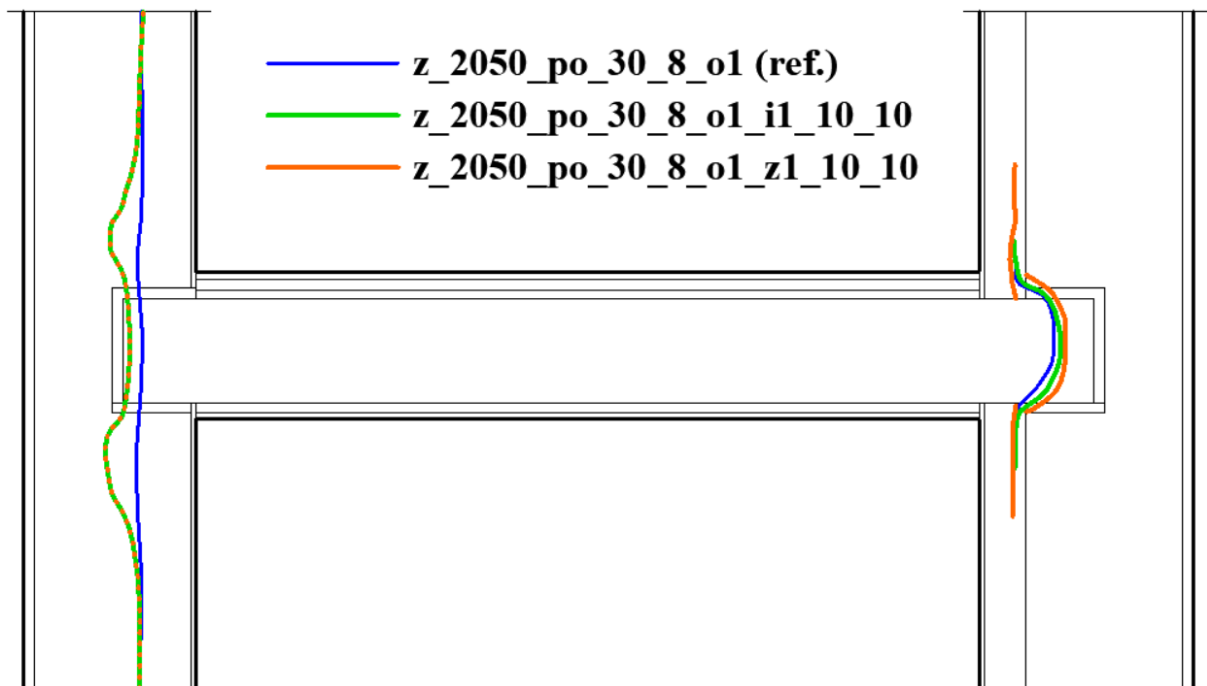
Obrázek 22 – Var. z_2050_po_30_8_o1 (ref.) – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 23 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 24 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 25 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b]

Interpretace výsledků

Při porovnání předpokládaných oblastí kondenzace mezi jednotlivými variantami (viz. Obrázek 22, Obrázek 23 a Obrázek 24) je možno si povšimnout, že zalepením došlo k mírnému odklonění oblastí kondenzace z prostoru trámové kapsy. Srovnáme-li pak dvě zkoumané varianty zalepení, lze dospět k závěru, že zalepení páskou v rovině rozhraní zdiva a

tepelné izolace (tj. na zdivu), je čistě z hlediska odklonění kondenzace z prostoru trémové kapsy výhodnější než druhá varianta. Toto lze přikládat za následek jednak přímému uzavření vzduchové mezery u zmíněné varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**, ale také jistému lokálnímu odklonění transportních procesů ve vrstvě tepelné izolace směrem k trémové kapse.

Při porovnání obou variant z hlediska polohy izolinií relativní vlhkosti $RH = 85\%$ v prostoru trémové kapsy (viz. Obrázek 25) v první řadě vidíme, že izolinie, jak pro obě zkoumané varianty, tak pro referenční variantu bez zalepení procházejí vždy prostorem trémové kapsy a také vlastním dřevěným trémem. Z toho lze vyvozovat, že za zvolených stacionárních okrajových podmínek a při použitých opatřeních mohou být podmínky v trémové kapse vhodné pro jistou formu degradace dřeva. Přičemž při zalepení páskou v rovině rozhraní zdiva a tepelné izolace (tj. u varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**) došlo v zateplené stěně k mírnému odsunutí izolinie směrem do exteriéru. Toto zlepšení lze, obdobně jako u oblastí kondenzace, přikládat na vrub jednak přímému uzavření vzduchové mezery trémové kapsy páskou, ale také určitému odklonění transportních procesů, které je zjevně u varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** zvládnuto lépe.

V oblasti od izolinií směrem do exteriéru by tedy teoreticky, i když pořád musíme brát především ohled na specifičnost použitého výpočetního modelu, měly započít na dřevě degradační procesy, spočívající především v růstu plísní, jejich případný rozvoj směrem do interiéru může záviset na specifikách reálného stavu.

2.3.3 Zalepení trémové kapsy – délka přesahu (na zdivu)

Pro srovnání vlivu délky přesahu těsnící pásky na podmínky v trémové kapse byly vybrány tři různé varianty modelu s totožnou materiálovou skladbou, okrajovými podmínkami a polohou pásky z hlediska umístění části jí tvořené manžety na příslušném rozhraní vrstev. Jedná se o varianty s umístěním těsnící pásky na rozhraní zdiva a vnitřní izolace s označením **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**, u které je přesah pásky roven 10 cm jak ve směru vodorovném, tak ve směru svislém a dále pak **z_2050_po_30_8_o1_z1_25_10** a **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25**, u kterých je vždy v jednom směru přesah pásky roven 10 cm a v druhém 25 cm. Jako referenční varianta bez zalepení byla použita **z_2050_po_30_8_o1**.

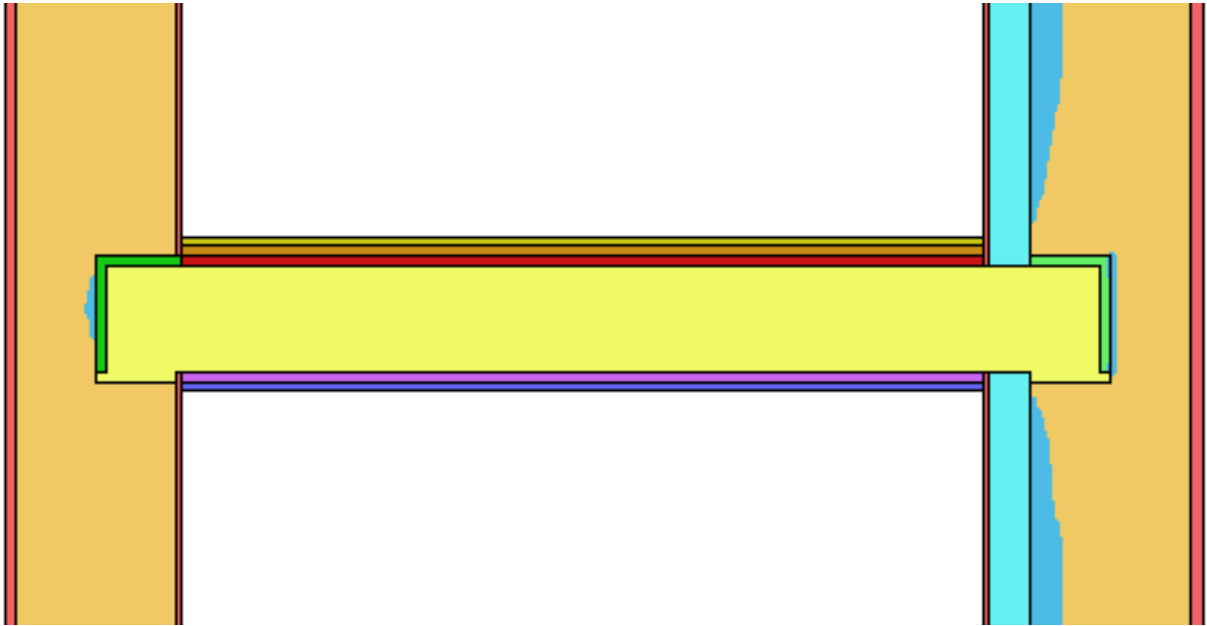
Výsledky

Výpočtem v softwaru Area 2017 byly pro výše zmíněné varianty modelu, s přesahy těsnících pásek 10 cm a 10 cm, respektive 10 cm a 25 cm, získány grafické výstupy

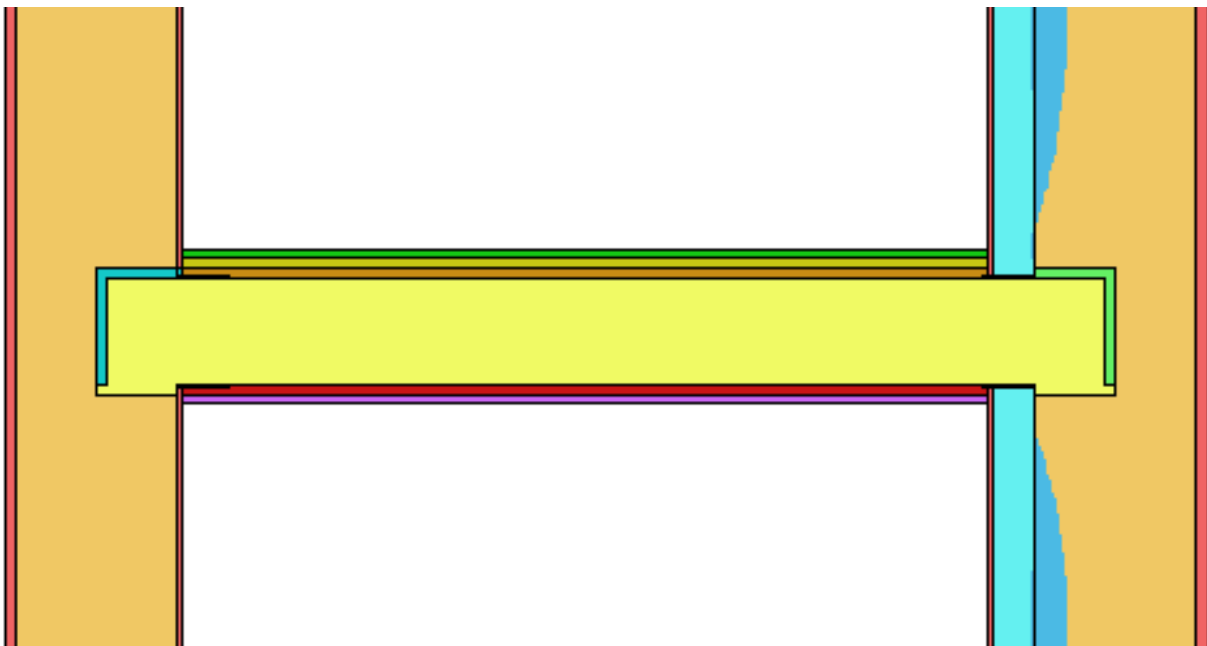
zobrazující předpokládané oblasti kondenzace (viz. Obrázek 27, Obrázek 28 a Obrázek 29). Jako referenční varianta bez zalepení byla použita **z_2050_po_30_8_o1**, jejíž grafické zobrazení předpokládaných oblastí kondenzace je v této podkapitole rovněž obsaženo (viz. Obrázek 26). U všech tří variant se zalepením jsou z těchto obrázků patrné rozdíly mezi zkoumanými variantami prakticky pouze v jejich pravé části (tj. v zateplené stěně). U všech tří ovšem nedochází ke kondenzaci v prostoru trámové kapsy. U varianty s obousměrně krátkým přesahem **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** a s krátkým přesahem na zdivu **z_2050_po_30_8_o1_z1_25_10** není patrný zásadní rozdíl v oblastech předpokládané kondenzace. Naproti tomu u třetí zkoumané varianty, tedy dlouhým přesahem na zdivu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25** jsou již oproti předchozím patrné odlišnosti. V levé části obrázků, tedy v nezateplené stěně, je opět patrné vyloučení kondenzace u všech zalepených variant, oproti tomu u referenční varianty dochází v čele trámové kapsy ke kondenzaci.

Dále bylo na základě grafických výstupů relativní vlhkosti sestaveno schéma, porovnávající pro zmíněné varianty polohu izolinií relativní vlhkosti $RH = 85 \%$ v prostoru trámové kapsy (viz. Obrázek 30). Izolinie pro variantu se zalepením s obousměrně krátkým přesahem je znázorněna zelenou barvou, s dlouhým přesahem na trámu a krátkým na zdivu pak barvou oranžovou a pro variantu s krátkým přesahem na trámu a dlouhým na zdivu barvou fialovou. Referenční varianta bez zalepení je značena modrou barvou. Je-li v některé části průběh izolinií jednotlivých variant vzájemně shodný, je použito překrytí, přičemž vrchní čára je v takovém případě čárkovaná.

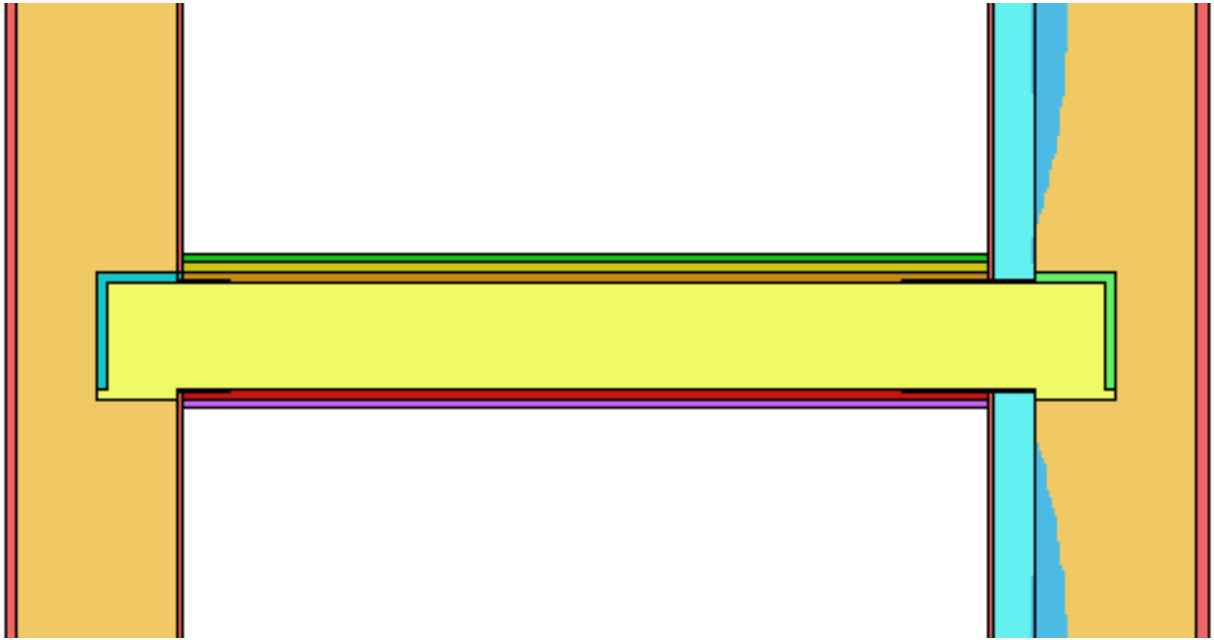
Popisované izolinie procházejí dřevěným trámem, jedinou výjimku tvoří varianta **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25**, jejíž izolinie se v nezateplené stěně (v levé části obrázku) prostoru trámové kapsy z daleka vyhýbá.



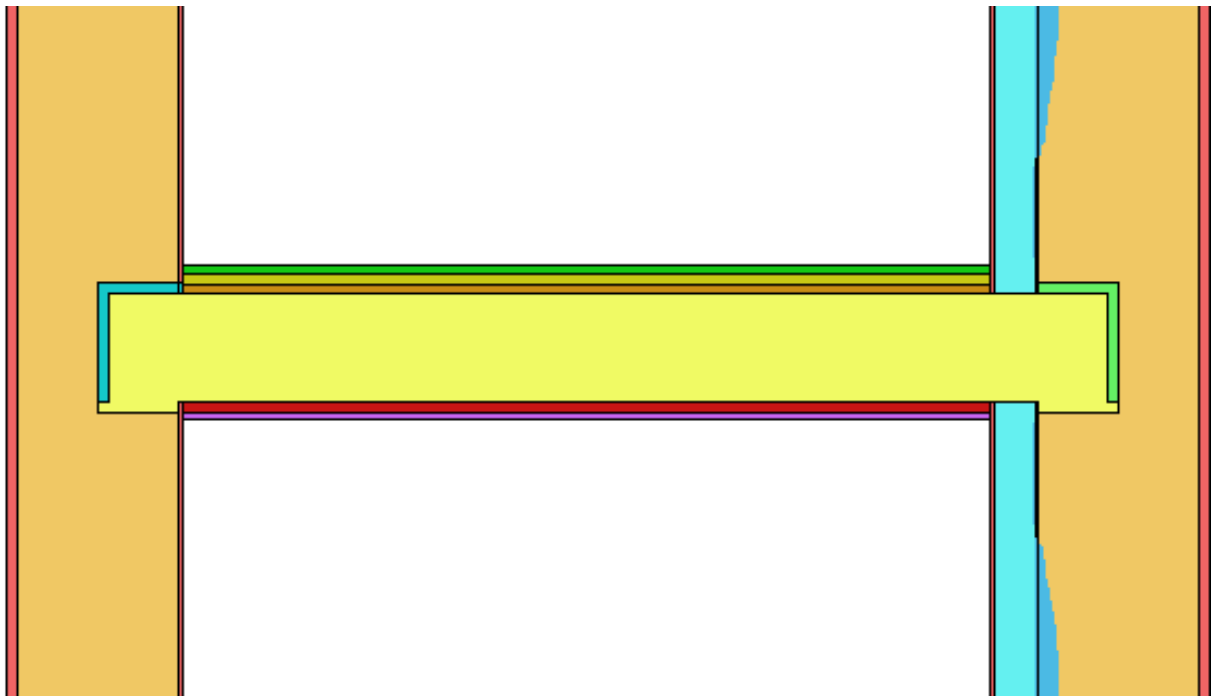
Obrázek 26 - Var. z_2050_po_30_8_o1 (ref.) – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



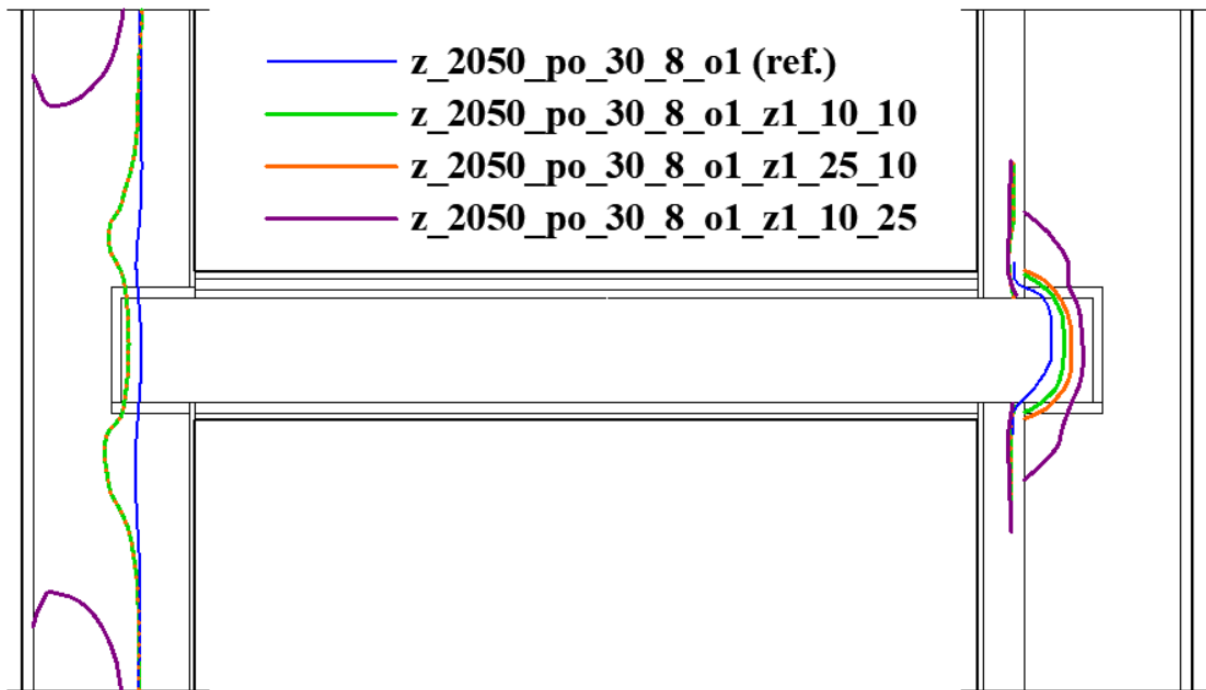
Obrázek 27 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 28 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_25_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 29 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 30 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b]

Interpretace výsledků

Zhodnotíme-li rozdíly mezi jednotlivými variantami, co do polohy a velikosti kondenzačních zón, můžeme, alespoň z hlediska stacionárního 2D modelu, konstatovat, že zalepení trámové kapsy na rozhraní tepelné izolace a zdiva pomáhá, za daných podmínek, velmi účinně eliminovat kondenzaci v prostoru trámové kapsy. Což ostatně bylo již zmíněno v předchozí podkapitole 2.3.2. Rozdíly mezi jednotlivými variantami, respektive mezi dopady u nich zvolených délek přesahů parotěsnící pásky ve směrech os x a y, pak ukazují, že jako nejefektivnější z porovnávaných variant se jeví **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25**. Z toho lze tedy usuzovat, že je efektivnější vynaložit větší množství pásky tu část manžety, která přiléhá ke zdivu než na tu, která obepíná trám. Vysvětlení tohoto faktu lze spatřovat mimo jiné v porovnání materiálových charakteristik dřeva a omítky. Podíváme-li se do tabulky (viz. Tabulka 1) na stránku 27, zjistíme, že zatímco vnitřní omítka má hodnotu faktoru difuzního odporu $\mu = 19,0$ a cihelné zdivo $\mu = 8,5$, tak dřevo ve směru kolmo na vlákna má $\mu = 157,0$. To jinými slovy znamená, že při stejné tloušťce vrstvy by dřevo působilo jako výrazně lepší parobrzda než omítka, či cihelné zdivo. Je tedy logické, že se spíše vyplatí lokálně investovat větší množství parotěsnící pásky, tedy pro její delší přesah, právě na překrytí materiálu, který má výrazně nižší hodnotu $\mu [-]$, respektive v konečném dopadu v závislosti na tloušťce vrstvy spíše ekvivalentní difuzní tloušťky $s_d [m]$.

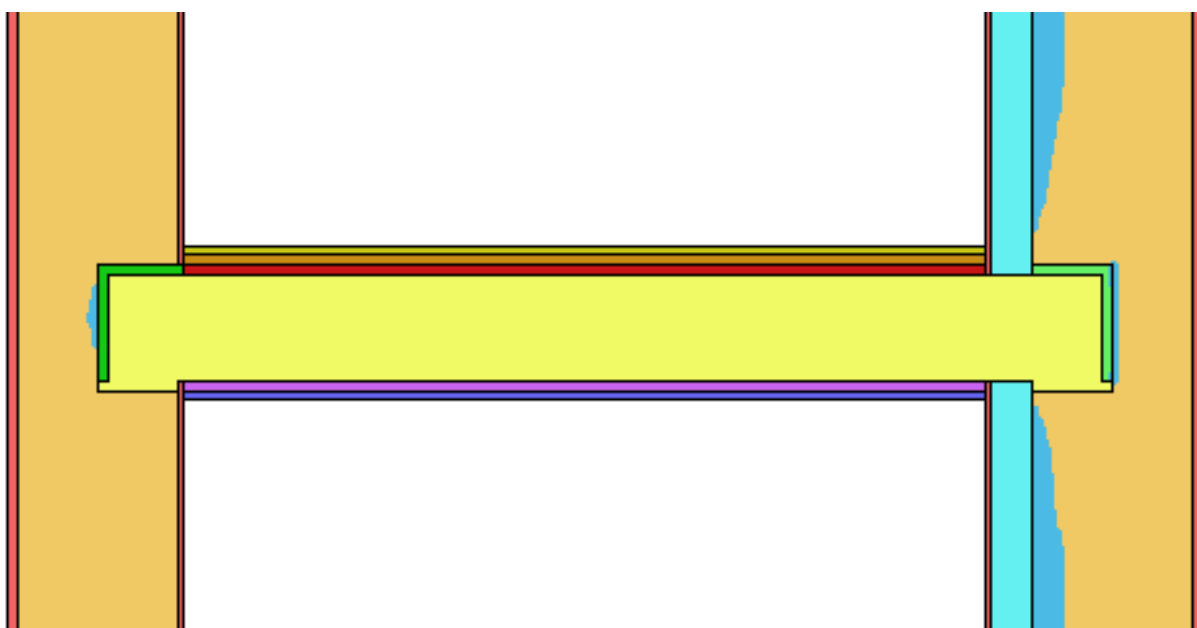
Popsaný efekt se obdobně projevil také na průběhu izolinií relativní vlhkosti pro hodnotu $RH = 85 \%$ (viz. Obrázek 30). Dalo by se říci, že na levé straně, tedy v nezateplené stěně, se pak projevil přímo extrémním způsobem, kdy zkoumané izolacie se prostoru trémové kapsy vyhýbají skutečně velkým obloukem. V zateplené stěně pak způsobil výrazně větší roztažení obrazce, tvořeného izolinií, do výšky než u ostatních variant. Došlo také k posunutí průběhu izolacie směrem k exteriéru, ta ovšem stále okrajově prochází hmotou dřevěného trému a mohlo by tak stále docházet k plesnivění přinejmenším přímo na trémovém zhlaví.

2.3.4 Zalepení trémové kapsy – délka přesahu (na izolaci)

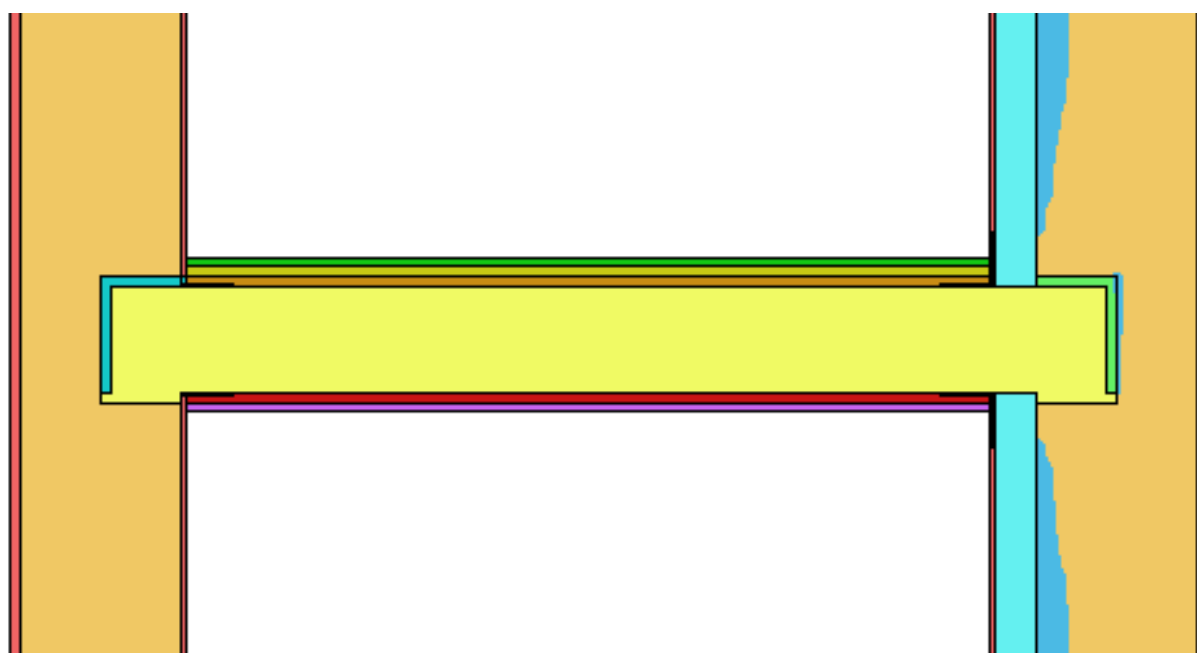
Pro srovnání vlivu délky přesahu těsnící pásky na podmínky v trémové kapse byly vybrány tři různé varianty modelu s totožnou materiálovou skladbou, okrajovými podmínkami a polohou pásky z hlediska umístění části jí tvořené manžety na příslušném rozhraní vrstev. Jedná se o varianty s umístěním těsnící pásky v rovině rozhraní vnitřní izolace a vnitřní omítky s označením **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10**, u které je přesah pásky roven 10 cm v obou směrech a dále pak **z_2050_po_30_8_o1_i1_25_10** a **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25**, u kterých je v jednom směru přesah pásky roven 10 cm a v druhém 25 cm. Jako referenční varianta bez zalepení byla použita **z_2050_po_30_8_o1**.

Výsledky

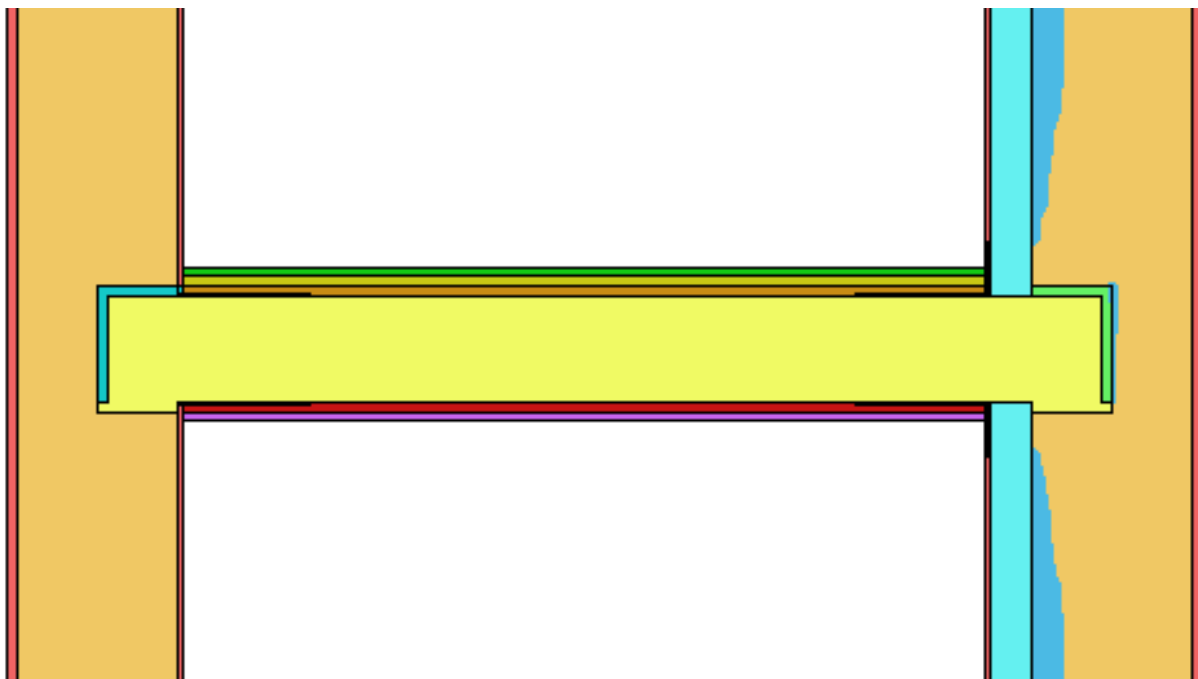
Pro výše zmíněné varianty trojrozměrného modelu, s přesahy těsnících pásek 10 cm a 10 cm, respektive 10 cm a 25 cm, byly, pomocí programu Area 2017, získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace (viz. Obrázek 32 až Obrázek 34). Jako referenční varianta bez zalepení byla použita **z_2050_po_30_8_o1**, jejíž grafické zobrazení předpokládaných oblastí kondenzace je v této podkapitole rovněž obsaženo (viz. Obrázek 29). U všech tří variant se zalepením jsou z těchto obrázků opět patrné rozdíly mezi zkoumanými variantami prakticky pouze v jejich pravé části (tj. v zateplené stěně). U variant s krátkým přesahem na izolaci dochází k mírné kondenzaci v prostoru trémové kapsy. U varianty s obousměrně krátkým přesahem **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10** a s krátkým přesahem na izolaci **z_2050_po_30_8_o1_i1_25_10** není patrný zásadní rozdíl v oblastech předpokládané kondenzace. Naproti tomu u třetí zkoumané varianty, tedy dlouhým přesahem na izolaci **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25** jsou již oproti předchozím patrné odlišnosti. V levé části obrázků, tedy v nezateplené stěně, je opět patrné vyloučení kondenzace u všech zalepených variant, oproti tomu u referenční varianty v čele trémové kapsy ke kondenzaci dochází.



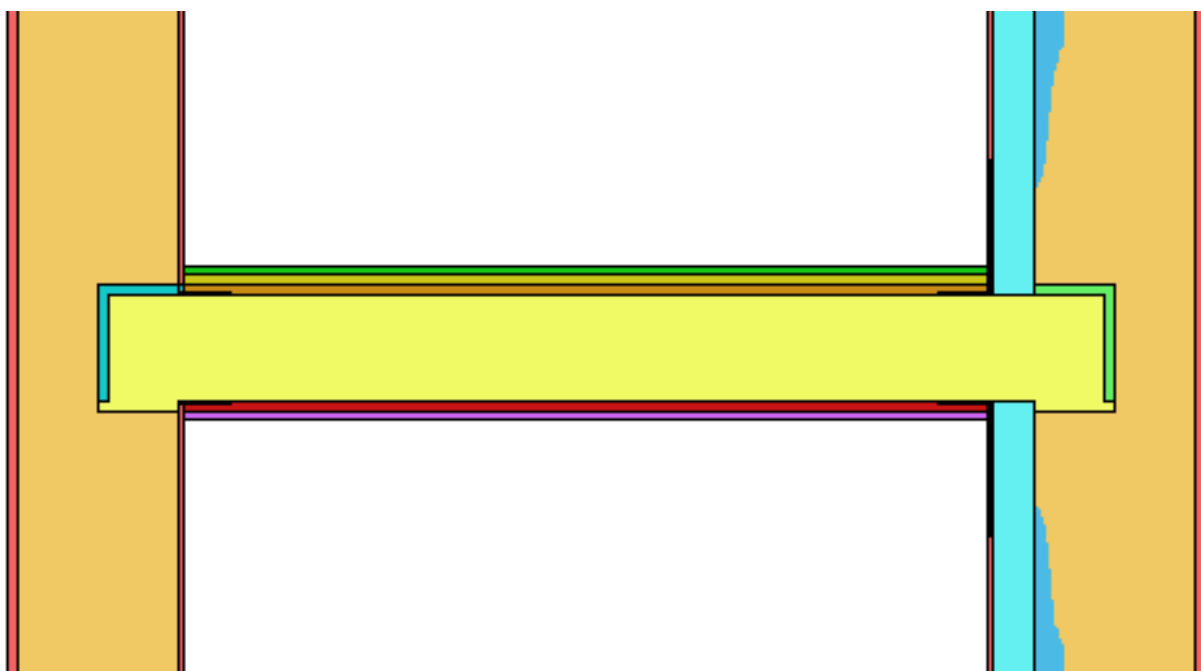
Obrázek 31 - Var. z_2050_po_30_8_o1 (ref.) – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 32 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 33 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_25_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



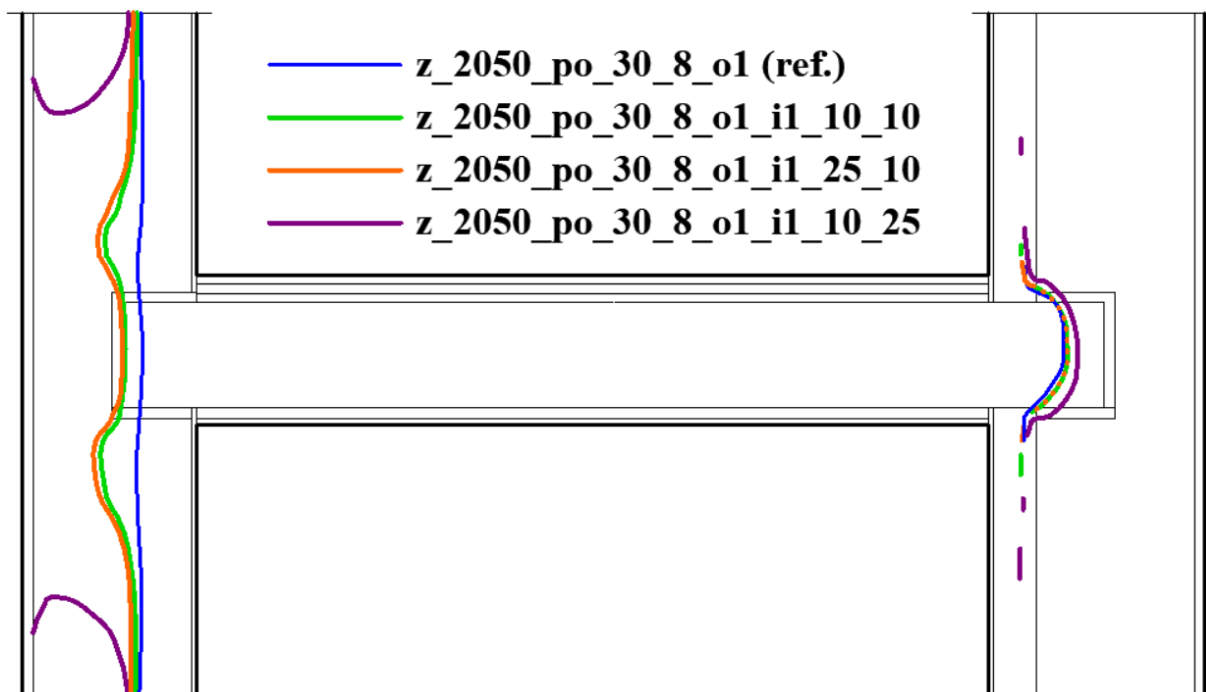
Obrázek 34 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]

Dále bylo, na základě grafických výstupů relativní vlhkosti, sestaveno schéma, porovnávající pro zmíněné varianty polohu izolinií relativní vlhkosti $RH = 85\%$ v prostoru trémové kapsy (viz. Obrázek 35). Izolinie pro variantu se zalepením s obousměrně krátkým přesahem je znázorněna zelenou barvou, s dlouhým přesahem na trámu a krátkým na zdivu pak barvou oranžovou a pro variantu s krátkým přesahem na trámu a dlouhým na zdivu

barvou fialovou. Referenční varianta bez zalepení je značena modrou barvou. Je-li v některé části průběh izoliníí jednotlivých variant vzájemně shodný, je použito překrytí, přičemž vrchní čára je v takovém případě čárkovaná.

Průběh izoliníí v zateplené stěně je pro všechny varianty relativně podobný, pouze varianta **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25** se od shluku všech ostatních mírně odchyľuje směrem k exteriéru, jedná se však o poměrně malý posun, který činí přibližně 10 až 30 mm.

Všechny popisované izolinie procházejí v obou obvodových stěnách dřevěným trámem, jedinou výjimku tvoří varianta **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25**, jejíž izolinie se v nezateplené stěně (v levé části obrázku) prostoru trámové kapsy z daleka vyhýbá.



Obrázek 35 - Průběh izoliníí RH – zdroj [15b]

Interpretace výsledků

Zhodnotíme-li rozdíly mezi jednotlivými variantami, co do polohy a velikosti kondenzačních zón, můžeme, tedy alespoň z hlediska stacionárního 2D modelu, konstatovat, že zalepení trámové kapsy na rozhraní vnitřní omítky a tepelné izolace sice pomáhá, za daných podmínek, omezit kondenzaci v prostoru trámové kapsy, nicméně úplného odstranění kondenzace bylo dosaženo pouze u var. **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25**. Rozdíly mezi jednotlivými variantami, přesněji řečeno mezi dopady u nich zvolených délek přesahů

parotěsnicí pásy ve směrech os x a y, tedy mají na výskyt kondenzace v trámové kapse zcela zásadní vliv. Opět, analogicky k situaci v podkapitole 2.3.3, lze tedy říci, že je efektivnější vynaložit větší množství pásy tu část manžety, která přiléhá ke zdivu než na tu, která obepíná trám. Zde se opět částečně nabízí vysvětlení, uvedené již ve výše zmíněné předchozí podkapitole, které pracuje s rozdílnými hodnotami faktoru difúzního odporu μ [-] a ekvivalentní difuzní tloušťky s_d [m] pro různé materiály. Zde je však nutné vzít v potaz, že rozdílné umístění parotěsnicí pásy má určitý dopad na změny ve směřování transportních procesů v okolí trámové kapsy.

Na průběhu izolinií relativní vlhkosti pro hodnotu $RH = 85 \%$ (viz. Obrázek 35) se delší přesah pásy na izolaci až tak zásadně neprojevil, nebylo dosaženo očekávaného výsledku. Průběhy izolinií na levé straně, tedy v nezateplené stěně, jsou prakticky stejné jako v přechozí podkapitole. Jediným rozdílem je nepatrný posun linie pro **z_2050_po_30_8_o1_z1_25_10** směrem více k venkovnímu prostředí, ta se tedy již nepřekrývá s linií pro variantu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**. Toto však z podstaty věci, vzhledem k tomu, že se v nezateplené stěně prakticky nic nezměnilo, příliš nedává smysl. Nabízí se konstatovat, že k tomu došlo pouze vlivem nepřesnosti při překreslování izolinií z podkladů pocházejících z programu Area 2017. Je však otázkou, zda v tomto nemohlo sehrát roli ještě něco jiného, například i změny provedené na protilehlé obvodové stěně.

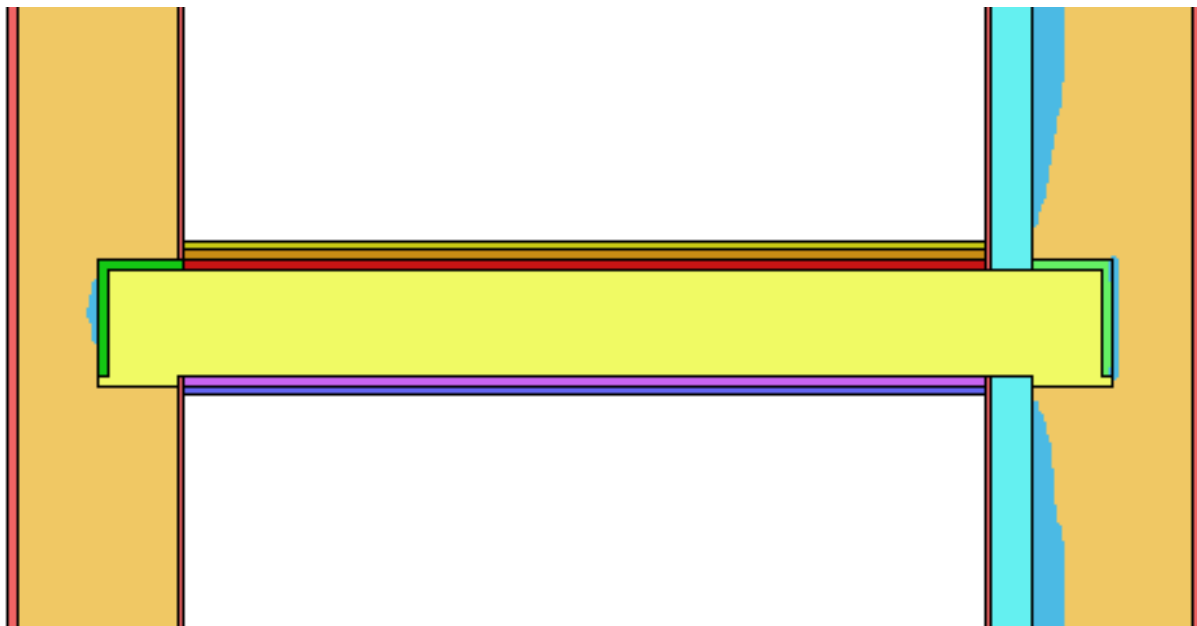
2.3.5 Provedení stropní konstrukce

Pro srovnání vlivu odlišného provedení stropní konstrukce na podmínky v trámové kapse byly vybrány dvě základní varianty modelu s totožnou materiálovou skladbou a okrajovými podmínkami. Jedná se o základní variantu **z_2050_po_30_8_o1** se standartně provedeným podhledem, tak jak je popsán v podkapitolách 2.1.1 Geometrie modelu a 2.1.2 Vlastnosti materiálů a variantu **z_2050_be_30_8** u které se počítá s pohledovými trámy a v 3D modelu by tedy nebyla vybavena rovným podhledem. Zde je však nutno upozornit, že povaha dvourozměrného výpočtového modelu zde umožňuje pouze velmi omezeně namodelovat rozdíly mezi těmito variantami a ty tak v podstatě spočívají pouze v odstranění vrstev podhledu, což má oproti případnému 3D modelu velmi odlišný vliv na změny v prostředí v okolí trámu.

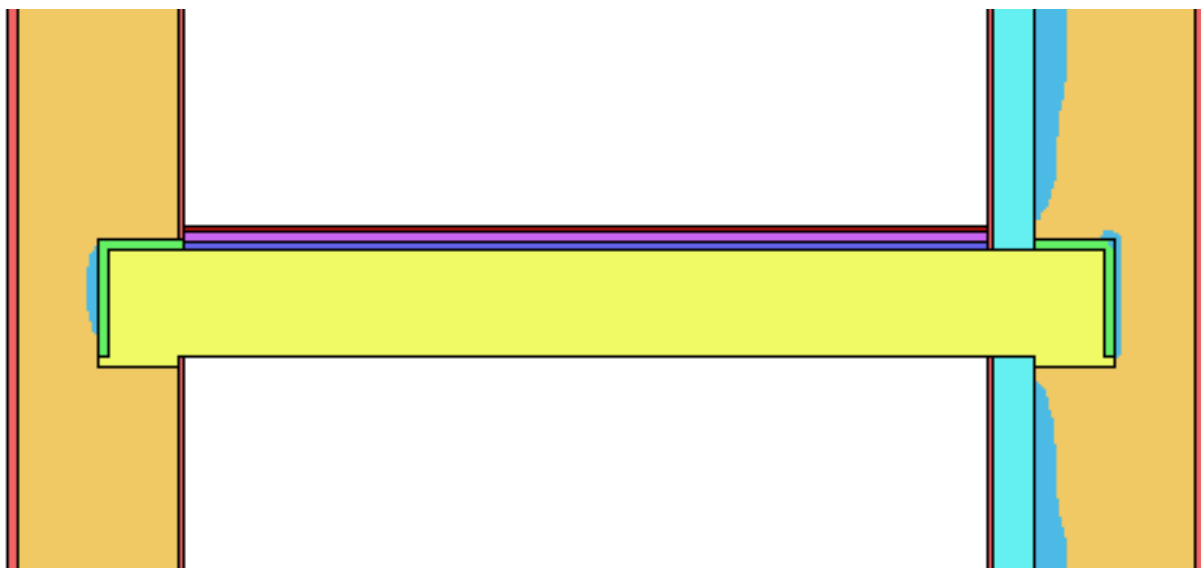
Výsledky

Výpočtem v programu Area 2017 byly, pro obě zde řešené varianty, získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace ve svislém řezu trámovou kapsou (viz. Obrázek 36 a Obrázek 37). Z těchto obrázků nejsou mezi oběma variantami patrné zásadnější rozdíly, pouze u varianty bez podhledu je možné si při pečlivějším pohledu povšimnout obecně o trochu rozsáhlejších oblastí kondenzace.

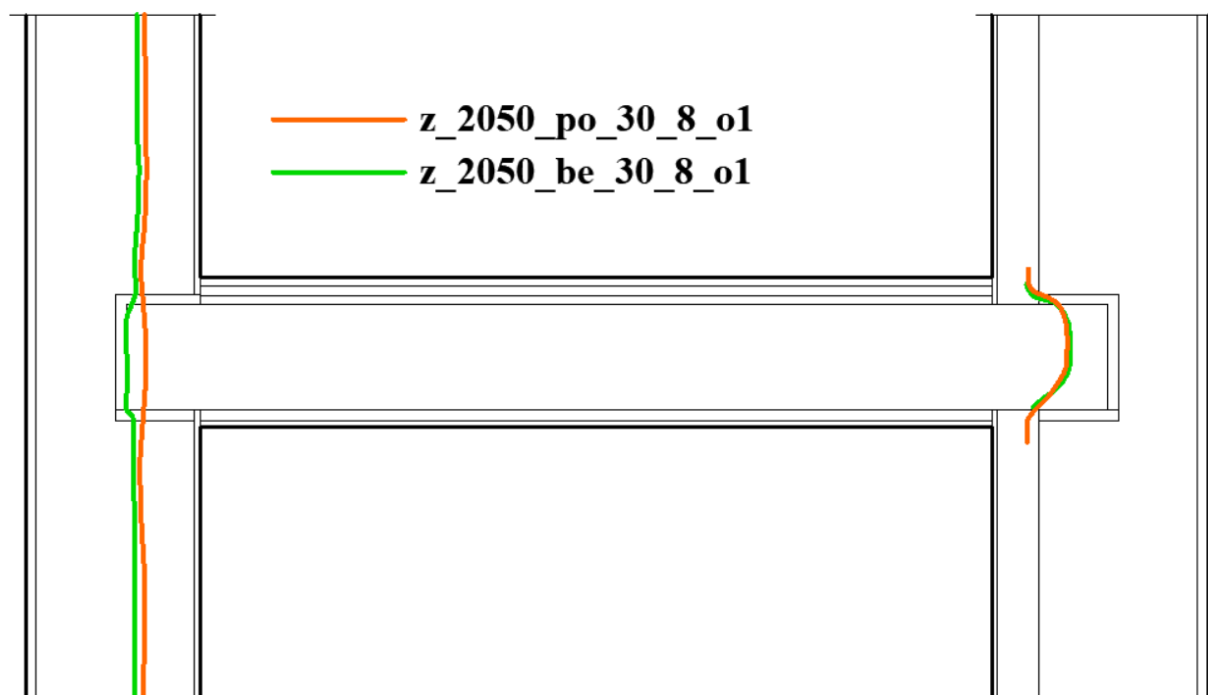
Dále je prezentováno porovnání průběhu linií izolinie $RH = 85\%$ pro obě varianty (viz. Obrázek 38). Na pravé straně (v zateplené stěně) jsou obě linie velmi podobné, jsou mezi nimi pouze velmi drobné rozdíly. Na levé straně (v nezateplené stěně) je patrný malý posun linie pro var. **z_2050_be_30_8** směrem do exteriéru, které se přímo v prostoru trámové kapsy ještě o něco více odklání a téměř kopíruje svislý obrys zhlaví trámu.



Obrázek 36 - Var. z_2050_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 37 - Var. z_2050_be_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 38 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b]

Interpretace výsledků

Prozkoumáme-li rozdíly mezi oběma zkoumanými variantami, co do polohy a velikosti předpokládaných oblastí, můžeme, tedy alespoň z hlediska stacionárního dvourozměrného modelu, říci, že odstraněním sádkartonového podhledu ze stropní konstrukce posuzovaného detailu došlo k nepatrnému zvětšení těchto oblastí. Toto lze přikládat za následek patrně snížení celkové ekvivalentní difúzní tloušťky na spodní hraně stropní konstrukce.

Pokud se jedná o porovnání vzájemné polohy izolinií pro hodnotu $RH = 85 \%$, pak rozdíly v jejich průběhu, v nezateplené obvodové stěně, můžeme přikládat na vrub zřejmě lepšímu prohrátí detailu po odstranění sádkartonového podhledu. Toto však vysvětluje prakticky pouze změnu průběhu linie v místě trámové kapsy, nikoli celkový posun v celé obvodové stěně. Ten však mohl být z části zapříčiněn nepřesností při zpracování této grafiky.

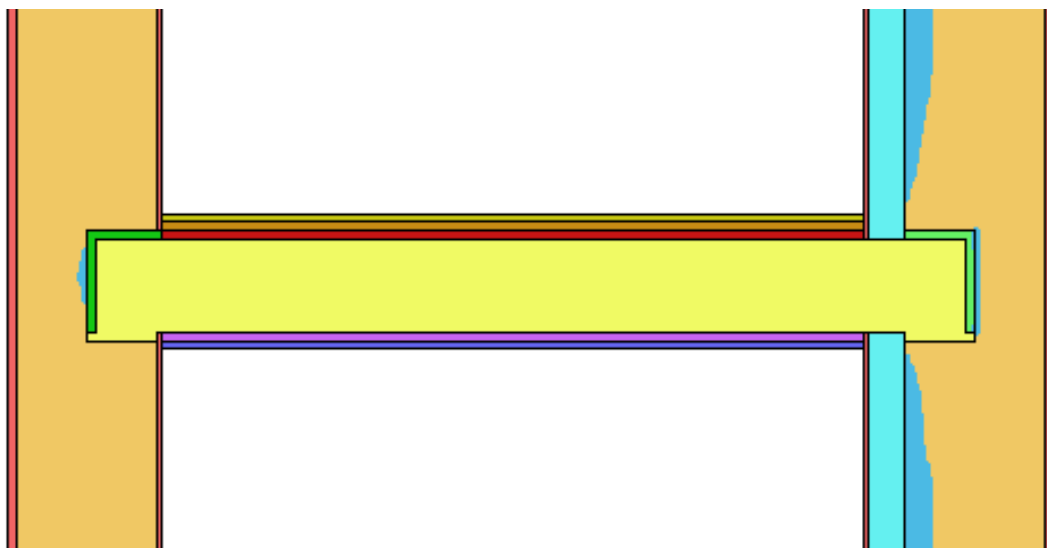
2.3.6 Tloušťka zdiva

Pro srovnání dopadů tloušťky obvodového zdiva na podmínky v trámové kapse byly zvoleny dvě varianty modelu s totožnou materiálovou skladbou a okrajovými podmínkami. Jedná se o variantu **z_2050_po_30_8_o1** s tloušťkou zdiva 300 mm a variantu **z_2050_po_45_8_o1** s tloušťkou zdiva 450 mm.

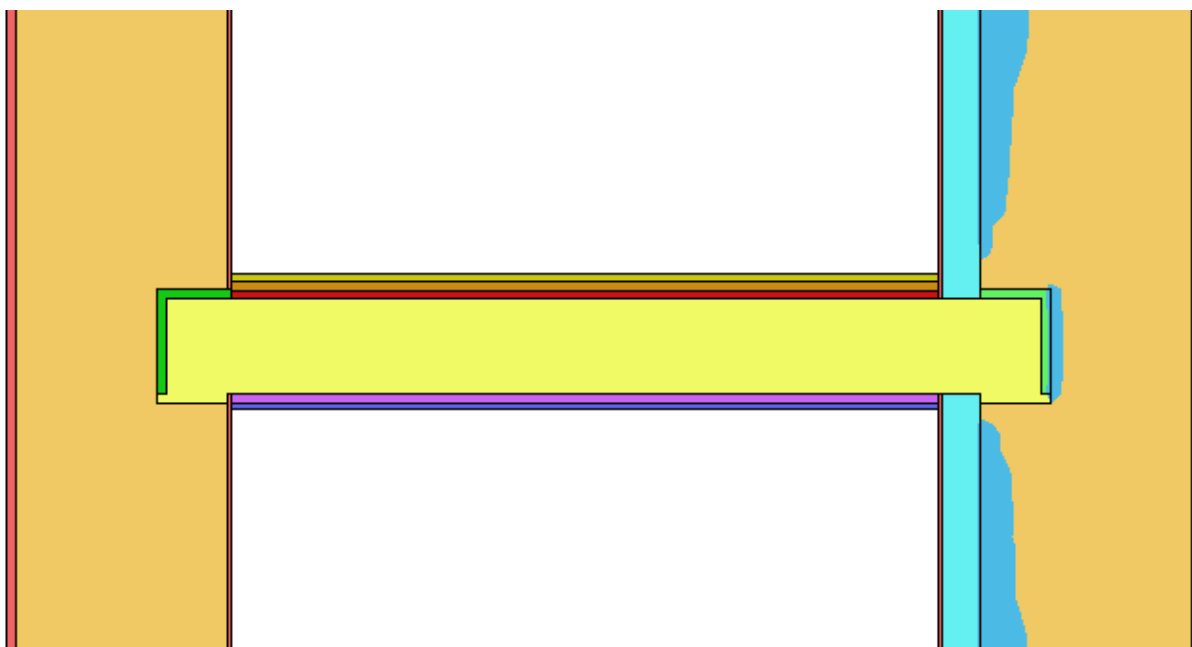
Výsledky

Výpočtem v programu Area 2017 byly pro varianty modelu **z_2050_po_30_8_o1** a **z_2050_po_45_8_o1** získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace ve svislém řezu (viz. Obrázek 39 a Obrázek 40). Z těchto obrázků je patrné, že v nezateplené obvodové stěně došlo se zvýšením tloušťky zdiva k eliminaci kondenzační zóny v čele trámové kapsy. V zateplené stěně u obou zobrazených variant ke kondenzaci v tomto místě dochází. U varianty s tloušťkou zdiva 450 mm jsou kondenzační zóny dokonce rozsáhlejší.

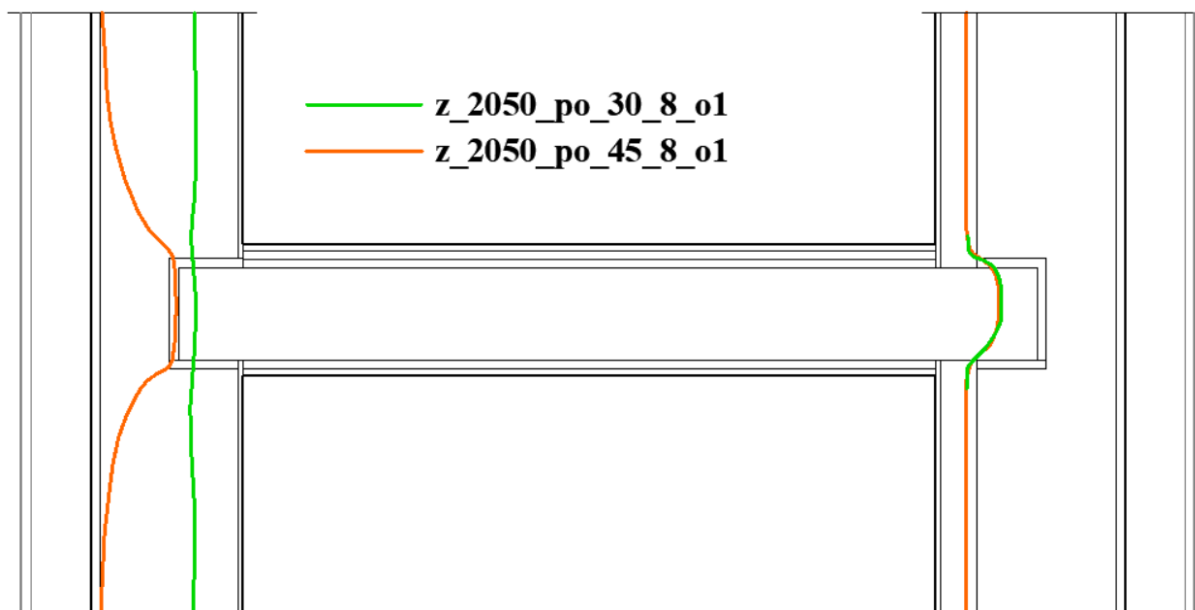
Dále bylo, na základě grafických výstupů relativní vlhkosti, sestaveno schéma, porovnávající pro obě varianty polohu izolinií relativní vlhkosti $RH = 85 \%$ ve svislém řezu v prostoru trámové kapsy (viz. Obrázek 41). V nezateplené stěně můžeme opět pozorovat značné rozdíly mezi průběhem linií pro jednotlivé varianty. Zatímco linie, odpovídající variantě **z_2050_po_30_8_o1** prochází, víceméně svise, celou obvodovou stěnou a přímo protíná dřevěný trám. Vedle toho linie pro variantu s tloušťkou zdiva 450 mm, tedy variantu **z_2050_po_45_8_o1** má výrazně odlišný průběh. Prochází sice trámovou kapsou, avšak vlastního dřevěného trámu se téměř nedotkne, pouze se k němu přiblíží. Mimo prostor trámové kapsy se pak linie vzdaluje směrem k exteriéru, až se její průběh ustálí přibližně v rovině, odpovídající povrchu zdiva u varianty **z_2050_po_30_8_o1**. V zateplené stěně je průběh izolinií vzájemně velmi podobný a obě přímo protínají dřevěný trám.



Obrázek 39 – Var. z_2050_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 40 – Var. z_2050_po_45_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]



Obrázek 41 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b]

Interpretace výsledků

Po zhodnocení výše zobrazených grafických výstupů je zřejmé, že změna tloušťky obvodového zdiva z 300 mm na 450 mm nemá při aplikaci vnitřního zateplení žádný zásadní vliv na zkoumané charakteristiky. Dalo by se dokonce konstatovat, že v případě vnitřně zateplené obvodové stěny, se shodnou tloušťkou tepelné izolace, vede navýšení tloušťky zdiva k mírnému zhoršení situace, spočívajícímu především v rozsáhlejší výskytu kondenzace. Naproti tomu u původní, nezateplené stěny, došlo dle očekávání ke zlepšení situace v obou zkoumaných charakteristikách. Kondenzace byla vyloučena a došlo k výraznému posunu izolinie pro RH = 85 %. Potvrzuje se tak předpoklad, že tato částěji, pro obytné místnosti, používaná minimální tloušťka obvodového zdiva má předpoklady být bez zateplení dlouhodobě funkční a bezpečná. Toto však není hlavním cílem této práce, a tak nezbyvá než konstatovat, že z hlediska dodatečně vnitřně zateplené stěny nebyl tímto zkoumáním zjištěn žádný přínos silnějšího obvodového zdiva.

2.4 Shrnutí výstupů 2D modelu

Při práci s dvourozměrným stacionárním výpočetním modelem v programu Area 2017 a následném vyhodnocování výsledků bylo zjištěno několik zajímavých poznatků. Některé předpoklady se nepotvrdily, jiné varianty modelu překvapily svými výsledky.

Všechny varianty modelu, řešené v této podkapitole, byly provedeny tak, že je možné na nich srovnat dopad příslušných opatření jak na zateplenou, tak nezateplenou stěnu. Obecně se tak potvrdil předpoklad, že provedení dodatečného vnitřního zateplení má za následek vznik kondenzačních zón zpravidla na rozhraní mezi tepelnou izolací a zdivem. V některých případech, v závislosti na konkrétní modifikaci, došlo ke vzniku oblastí předpokládané kondenzace také v místech čela trámové kapsy ve zdivu. Toto odpovídá faktu, že zdivo je v tomto místě oslabené a povrchová teplota zdiva zde bude, při zimním stavu, zpravidla nižší než na vnitřním líci zdiva.

Za nadějně lze označit především technické řešení, spočívající v zalepení trámové kapsy parotěsnicí páskou, ve variantě, kdy svíslá část takto vytvořené manžety přiléhá přímo k původnímu zdivu, leží tedy na rozhraní mezi vrstvou vnitřní tepelné izolace a zdiva. Tyto varianty modelu byly s různou délkou přesahů označeny jako **z_2050_po_30_8_o1_z1_xx_xx**. Právě z hlediska délky přesahu se jako nejefektivnější ukázala var. **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25**, která má delší přesah pásky na zdivu.

3 Studie na 3D modelu

Jako součást diplomové práce byla provedena výpočtová studie tepelně vlhkostního chování řešeného detailu na stacionárním trojrozměrném modelu. Pro modelování a výpočty byl využit software Cube 3D 2017, a to jak ve studentské EDU verzi, tak v plné verzi prostřednictvím virtuálních učeben, tedy dálkového přístupu k výpočetní technice v místnosti A534.

3.1 Popis modelu

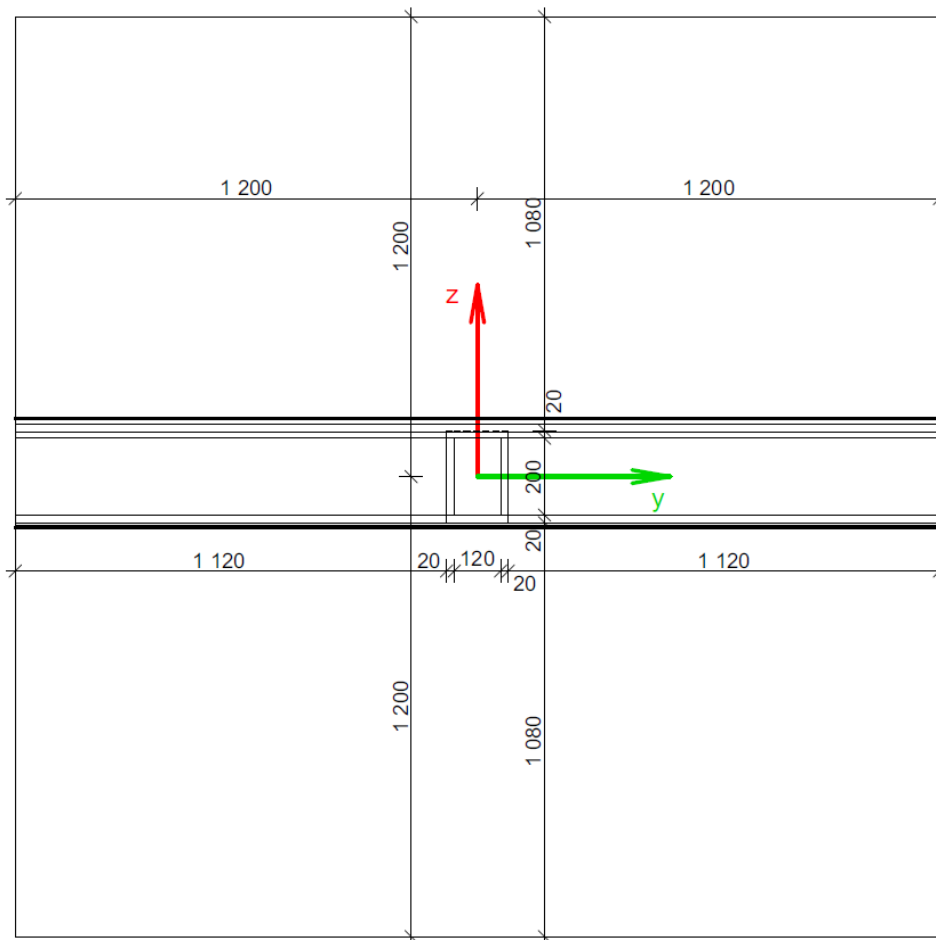
3.1.1 Geometrie modelu

Zvolený výpočetní model odpovídá trojrozměrnému grafickému zobrazení trámové kapsy a přilehlých konstrukcí. V kapsách je uvažována vzduchová mezera 20 mm mezi povrchem trámu a zdivem, trámy jsou v kapsách usazeny na podložkách z překližky tl. 20 mm. Oproti geometrii 2D modelu (viz. podkapitola 2.1.1 – str. 25) je zde modelována a z hlediska výstupů zobrazována trámová kapsa pouze v jedné stěně s přilehlou částí stropní konstrukce, nikoli tedy celá stropní konstrukce mezi dvěma obvodovými stěnami. Toto pojetí bylo zvoleno z důvodu zpřehlednění a omezení počtu neznámých v použitém 3D modelu, který je v tomto

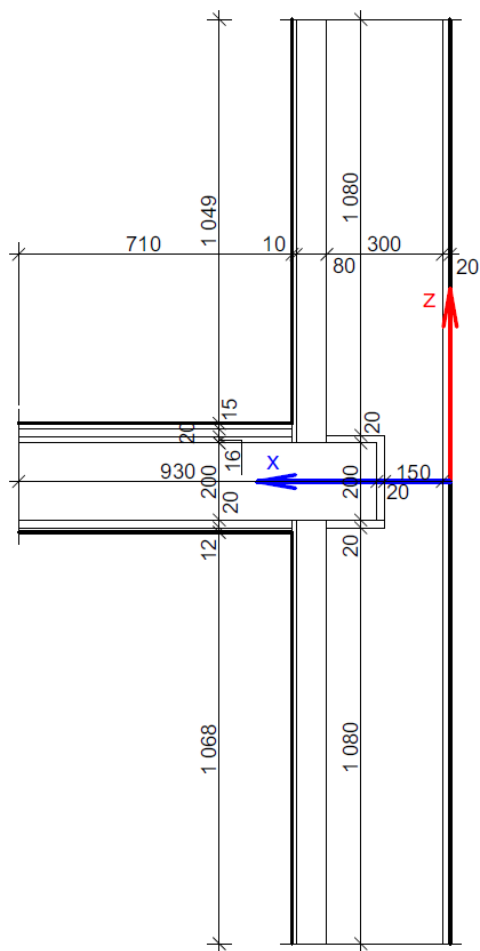
ohledu logicky náročnější, než 2D model. Jednotlivé modifikace modelu jsou uvedeny v kapitole 3.1.6 Řešené varianty a včetně výsledků podrobněji popsány v podkapitolách kapitoly 3.3 Výsledky pro jednotlivé varianty 3D modelu.

Obrázek 42 a Obrázek 43 zobrazují výchozí provedení modelu s tloušťkou cihelného zdiva 300 mm, vnitřním zateplením tloušťky 80 mm a SDK podhledem. Na nákresech modelu jsou barevně vyznačeny souřadné osy x, y, z. Obrázek 44 zobrazuje grafickou ukázkou zhotoveného 3D modelu s tloušťkou cihelného zdiva 300 mm, vnitřním zateplením tloušťky 80 mm a SDK podhledem. Model je na zmíněném obrázku zobrazen v pohledu z interiéru, šikmo shora z pravé strany.

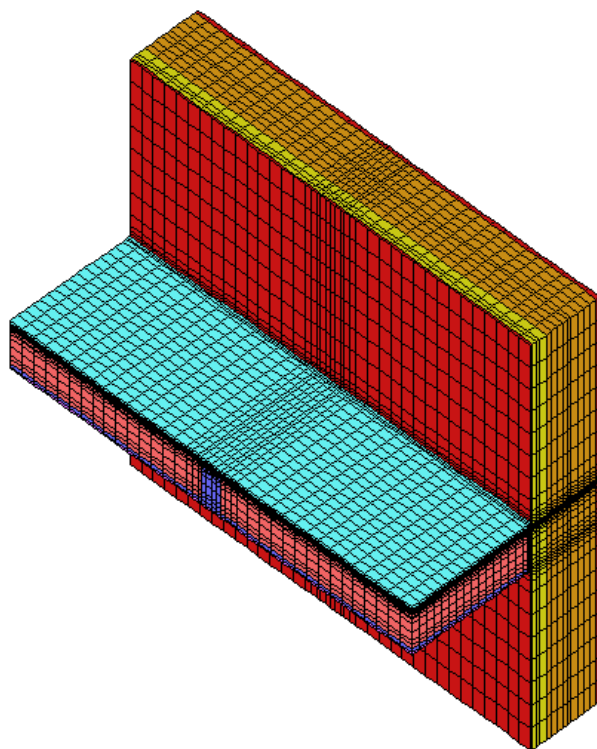
Při řešení modelu bylo využito materiálové databáze programu Cube 3D 2017.



Obrázek 42 - náčrt modelu - řez stropní konstrukcí ve směru pohledu na stěnu [mm]



Obrázek 43 - náčrtek modelu - řez trávovou kapsou [mm]



Obrázek 44 - ukázka 3D modelu – zdroj [16b]

3.1.2 Vlastnosti materiálů

Ve výpočetním modelu, použitým pro srovnání jednotlivých variant, byla využita materiálová databáze programu Cube 3D 2017. Vlastnosti použitých materiálů jsou uvedeny v následující tabulce, přičemž hodnoty pro parotěsnící pásku jsou zde uvedeny po přepočtení na modelovanou tloušťku, ta je totiž obdobně jako u 2D modelu pro zjednodušení modelována v tloušťce 2 mm, která neodpovídá reálnému materiálu. Proto bylo přistoupeno k úpravě hodnoty faktoru difúzního odporu μ [-] pro parotěsnící pásku, tak aby ve výsledku vycházela odpovídající ekvivalentní difúzní tloušťka s_d [m]. (*)V tabulce je uvedena hodnota $\mu = 22\,500$, která z hlediska s_d odpovídá právě pro zmíněnou modelovou tloušťku 2 mm.

Svislé nosné konstrukce jsou zděné z cihel plných pálených, dále je na nich použito vápenocementových omítek případně také vnitřního zateplení dřevovláknitou izolací.

Vodorovná stropní konstrukce se skládá z nosného dřevěného trámu, konstrukce podlahy a případně také podhledu. Podlaha je složena z dřevěné krytiny kladené na podložku Ethafoam a OSB desky. Podhled je pak proveden jako sádrokartonový a skládá se z dřevěných prken a sádrokartonových desek.

Ve vlastním detailu trámové kapsy je vložena podložka z překližky tl. 20 mm. Zhlaví je obklopeno ze čtyř stran vzduchovou mezerou tl. 20 mm. U některých variant je provedeno zalepení trámové kapsy parotěsnící páskou. (**)Druhá hodnota $\mu = 7\,500$, uvedená v závorce, odpovídá pro specifickou variantu 3D modelu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky**, kde část parotěsnící manžety přiléhající k dřevěnému trámu, je modelována pro zjednodušení v tloušťce 6 mm, důvodem pro toto opatření je osazení hliníkové pásoviny (viz. kapitola 3.3.3 Speciální technická opatření).

Tabulka 7 - Materiálové charakteristiky modelu – zdroj [16a]

Název materiálu	Součinitel tep. vodivosti λ [W/(mK)]	Faktor dif. odporu μ [-]
Zdivo CPP	0,800	8,5
Omítka vápenocementová	0,990	19,0
Dřevovláknitá iz. STEICO threm	0,041	5,0
Dřevo měkké (tok rov. s vlákny)	0,410	4,5
Dřevo měkké (tok kol. na vlákna)	0,180	157,0
Dřevo tvrdé (tok kol. na vlákna)	0,220	157,0
Ethafoam	0,041	4000,0
OSB deska	0,130	50,0
SDK deska	0,220	9,0
Parotěsnicí páska	0,400	22 500,0* (7 500,0**)
Ocel uhlíková	50,0	1000000,0
Hliník	204,0	1000000,0

3.1.3 Vnitřní okrajové podmínky

Vnitřní okrajové podmínky pro jednotlivé varianty 3D výpočetního modelu shodné, jedinou výjimku tvoří varianty validační. Byly zvoleny s ohledem na komfort uživatelů tedy obvyklý stav, respektive přizpůsobeny pro názorné předvedení vlivu jejich poklesu na zkoumané veličiny.

Použité vnitřní okrajové podmínky jsou uvedeny v následující tabulce (viz. Tabulka 8), jejich označení odkazuje na část níže uvedeného kódu pro označení jednotlivých variant modelu.

Tabulka 8 - vnitřní okrajové podmínky

Označení sady okr. podmínek	Teplota vnitřního vzduchu t_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i [%]
2050	20	50

3.1.4 Venkovní okrajové podmínky

Venkovní okrajové podmínky jsou pro všechny varianty modelu, kromě validačních, shodné. Byly zvoleny s ohledem na průměrné venkovní teploty v zimním období, zjištěné při experimentu probíhajícím v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT na Buštěhradě. Okrajové podmínky jsou uvedeny v následující tabulce (viz. Tabulka 9). Označení okrajových podmínek není uvedeno s ohledem na jejich shodnost u všech zkoumaných variant modelu.

Tabulka 9 - vnější okrajové podmínky

Označení sady okr. podmínek	Teplota vnitřního vzduchu t_e [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH _e [%]
-	-1	84

3.1.5 Způsob vyhodnocení výsledků

Výsledky jsou prezentovány formou grafických výstupů z programu Cube 3D 2017 a dalších, na jejich základě zhotovených, diagramů. Použitý 3D model se oproti 2D modelu více přibližuje reálnému stavu.

Při porovnávání jednotlivých variant bylo zvoleno tři srovnávacích postupů. Jedná se za prvé o vizuální srovnání grafických výstupů teplotních polí, ale také předpokládaných oblastí kondenzace, které však byly získány mírně odlišným postupem oproti předchozímu 2D modelu. Je na nich promítnuta část polí relativních vlhkostí v intervalu hodnot od 98 % do 100 %. Jako poslední srovnávací metody bylo použito srovnání vzájemné polohy izolinií RH = 85 % vždy na jednom obrázku pro danou podkapitolu. Na těchto diagramech jsou jednotlivé izoliny, odpovídající konkrétním variantám modelu, pro názornost barevně odlišeny, klíč – tedy legenda přiřazující jednotlivým variantám konkrétní barvy je vždy součástí daného obrázku. Pokud je konkrétní varianta zobrazována v několika různých podkapitolách, buď jako hlavní srovnávaná, či jako referenční, není zaručeno, že bude všude zobrazena stejnou barvou. Je tedy nezbytné věnovat vždy pozornost přímo legendě na daném diagramu.

Na základě grafických výstupů bylo sepsáno slovní hodnocení zobrazených informací. Toto hodnocení se v každé příslušné podkapitole dále dělí na dvě další nečíslované podkapitoly nadepsané „Výsledky“ a „Interpretace výsledků“. První zmíněná přímo obsahuje výše zmíněné grafické výstupy a má za úkol deskriptivně popsat, co je na nich zobrazeno. Druhá zmíněná pak slouží, jak už sám název napovídá, k interpretaci výsledků. V této části je

kladen důraz na vyhodnocení dopadů měnících se parametrů modelu, tedy parametrů jednotlivých variant, na praktické stránky věci, tedy především na růst plísní v prostoru trémové kapsy a případného rizika degradace trémového zhlaví.

3.1.6 Řešené varianty

Při řešení stacionárního 3D modelu bylo zpracováno menší množství variant než u předchozího stacionárního 2D modelu. Všechny zpracované varianty 3D modelu jsou uvedeny tabulce na konci této podkapitoly (viz. Tabulka 10). V seznamu jsou uvedeny všechny zpracované varianty, z nichž některé se neukázaly pro účely této práce jako reprezentativní a nejsou v ní dále nijak zmíněny. Pro některé nejsou k dispozici ani výstupy z výpočtu. Řešené varianty, jejichž problematika je dále řešena a jsou vzájemně porovnávány jejich výstupy, jsou ve sloupci „Výskyt v podkap.“ označeny příslušnou podkapitolou, případně podkapitolami, ve kterých se vyskytují. Při volbě variant bylo v různé míře zohledněno několik proměnných faktorů, které mají vliv na výsledné podmínky v trémové kapse. Jedná se jak o vliv okolního prostředí, ale především o různé geometrické a materiálové modifikace modelu.

Pro přehlednější orientaci byl vytvořen systém pojmenovávání různých zpracovaných variant, respektive souborů programu Cube 3D 2017. Název každé zpracované varianty se opět skládá z minimálně 17 znaků a formou zkratk v sobě obsahuje informace o specifických proměnných faktorech zohledněných v dané variantě modelu. Tento systém v zásadě vychází z předchozího systému pojmenovávání pro 2D model. Jsou zde však určité rozdíly mezi těmito dvěma systémy. Jeden z nich je způsoben odlišným geometrickým pojetím modelu a spočívá v možnosti použití čísla „0“ v rámci jednomístné číselné části kódu, odkazující na tloušťky hlavních prvků skladby v [cm], čímž se rozlišuje, zda je ve výpočtovém 3D modelu zahrnuta obvodová stěna s vnitřním zateplením, či bez něj. To v praxi znamená, že například varianta s označením **z_2050_po_30_0_o1** je variantou 3D modelu bez vnitřního zateplení. Další odlišnost se opět týká vnitřního zateplení, kde místo použití pouze číselného označení, je také v jednom případě použito kombinace číslice a písmena, a to u varianty **z_2050_po_30_8x_o1**, která se od běžné **z_2050_po_30_8_o1**, odlišuje specifickou formou vnitřního zateplení, které je v úrovni stropní konstrukce neprůběžné. Další drobné specifikum značení variant 3D modelu spočívá v označení přesahů manžety tvořené parotěsnicí páskou. Tento rozdíl je dán přidáním třetím rozměrem modelu, a tedy i třetí hodnotou přesahu pásky. Toto specifikum je zde však již zahrnuto v současném formátu dvou dvoumístných číselných

hodnot, což znamená, že první dvoumístná číselná část za označením „i1“ či „z1“ nadále odpovídá přesahu ve směru osy x, tedy na trámu, zatímco druhá část vyjadřuje hodnotu platnou pro osy y i z. Přesah na zdivu, či na tepelné izolaci je tak u všech příslušných variant shodný.

Podrobnější rozbor kódového označení je na dvou konkrétních příkladech uveden v podkapitole 2.1.6, jedná se sice o označení určené pro 2D model, nicméně tyto příklady lze, vzhledem k analogii obou systémů, považovat za naprosto dostačující.

Tabulka 10 - vytvořené a řešené varianty 3D modelu

Označení varianty	Výskyt v podkap.	Poznámka
z_vali_po_30_0_o1	3.2	Validační
z_vali_po_30_8_o1	3.2	Validační zateplená
z_vali_po_30_0_o1_z1_05_05	3.2	Validační se zalepením
z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05	3.2	Validační zatepl. se zalepením
z_2050_po_30_0_o1	3.3.1	
z_2050_po_30_0_o1_z1_05_05		
z_2050_po_30_0_o1_z1_10_10		
z_2050_po_30_8_o1	3.3.1; 3.3.2; 3.3.3	Průběžné vnitřní zateplení, referenční
z_2050_po_30_8x_o1	3.3.1	Neprůběžné vnitřní zateplení
z_2050_po_30_8_o1_z1_05_05		
z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10	3.3.2	
z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10	3.3.2	
z_2050_po_30_8_o1_upe	3.3.3	Protéza 2x UPE 120
z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky	3.3.3	Hliníková pásovina 20 x 5 mm

3.2 Validace modelu

Pro účely zjištění smysluplnosti použitého modelu bylo opět přistoupeno ke zpracování jeho variant, které jsou z hlediska geometrie, materiálových parametrů a okrajových podmínek v rámci možností co nejbližší parametrům detailů, zkoumaných v rámci reálného experimentu. Pro tyto účely byly zpracovány varianty **z_vali_po_30_0_o1**,

z_vali_po_30_8_o1, **z_vali_po_30_0_o1_z1_05_05** a **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05**, které se liší vnitřními okrajovými podmínkami, případným vnitřním zateplením a zalepením trámové kapsy páskou. V následujících podkapitolách 3.2.1 až 3.2.4 jsou tedy popsány blíže popsány jednotlivé parametry, kterými se tyto validační varianty odchyľují od variant ostatních.

3.2.1 Vlastnosti materiálů

Validační varianty se z hlediska materiálového, potažmo geometrického, od ostatních liší především podrobnějším zpracováním skladby vnitřního zateplení, které lépe odpovídá reálnému stavu. Vnitřní zateplení se skládá se dvou odlišných typů desek. Jedná se o dřevovláknité izolační desky UniIN Reco – flexibilní a UniIN Reco – omítací, kde omítací deska je ve skladbě umístěna blíže směrem k interiéru. Tyto dva typy desek mají odlišné základní materiálové charakteristiky. Obě desky mají stejnou tloušťku, tedy 40 mm, což dohromady tvoří souvrství o tloušťce 80 mm. Dále se validační varianty mezi sebou liší pochopitelně tím, že u jedné s nich není použita parotěsnicí páska, zatímco u druhé ano.

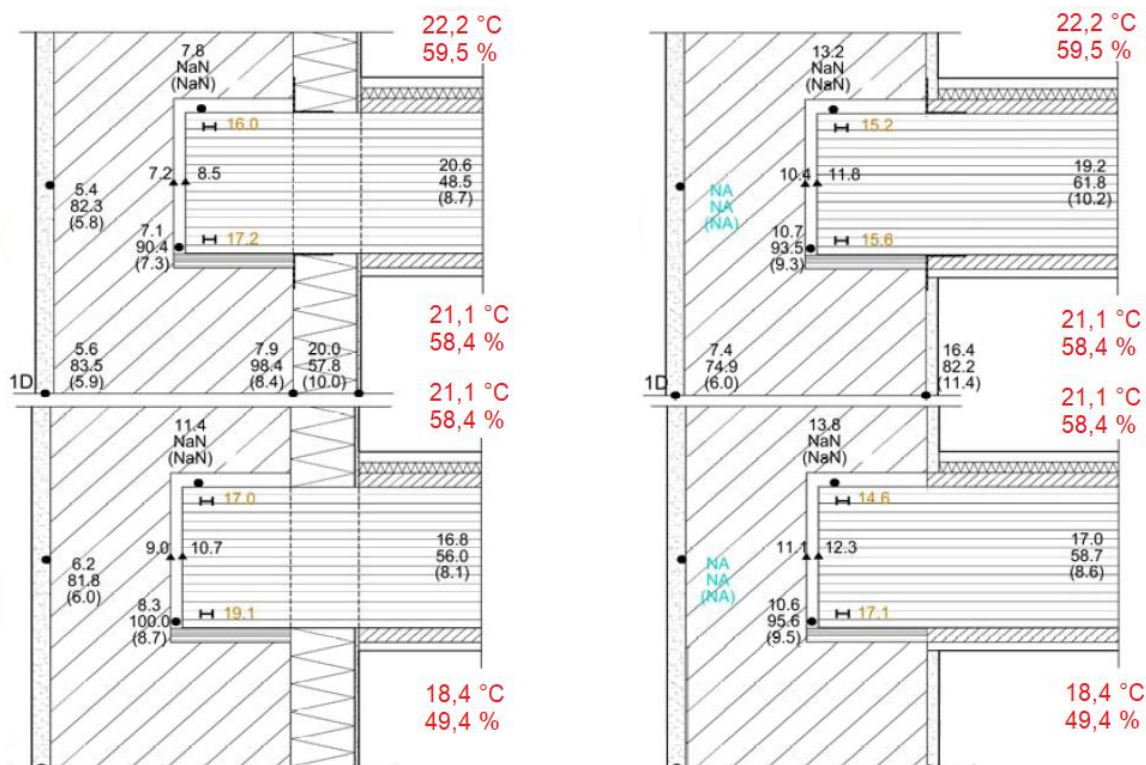
Upravený seznam použitých materiálů je uveden v následující tabulce (viz. Tabulka 11), ve které jsou specifické materiály zvýrazněny tučně. (*)V tabulce je pro parotěsnicí pásku opět uvedena hodnota $\mu = 22\,500$, která z hlediska s_d odpovídá pro zvolenou modelovou tloušťku 2 mm.

Tabulka 11 - Materiálové charakteristiky validačních variant modelu – zdroj [16a]

Název materiálu	Součinitel tep. vodivosti λ [W/(mK)]	Faktor dif. odporu μ [-]
Zdivo CPP	0,800	8,5
Omítka vápenocementová	0,990	19,0
Dřevovl. iz. d. UniIN Reco – omítací	0,048	5,0
Dřevovl. iz. d. UniIN Reco – flexibilní	0,038	1,0
Dřevo měkké (tok rov. s vlákny)	0,410	4,5
Dřevo měkké (tok kol. na vlákna)	0,180	157,0
Dřevo tvrdé (tok kol. na vlákna)	0,220	157,0
Ethafoam	0,041	4000,0
OSB deska	0,130	50,0
SDK deska	0,220	9,0
Parotěsnicí páska	0,400	22 500,0*

3.2.2 Vnitřní okrajové podmínky

Validační varianty modelu jsou z hlediska vnitřních okrajových podmínek oproti ostatním propracovanější. Ostatní varianty zpravidla pracují u dané varianty vždy se stejnými hodnotami t_i a RH_i v celém interiéru. Naproti tomu varianty zohledňují hodnoty těchto veličin, které byly v rámci experimentu naměřeny pro jednotlivé konkrétní části interiéru. Hodnoty okrajových podmínek, tedy t_i a RH_i jsou uvedeny červeným písmem na následujícím obrázku (viz. Obrázek 45) a vycházejí z uspořádání trámových kapes v experimentálním stěnovém poli. Na zmíněném obrázku jsou jednotlivé detaily umístěny analogicky vůči reálnému stavu, tedy detaily trámových kapes se zalepením jsou umístěny nad těmi bez zalepení. Tomuto odpovídá také s výškou rostoucí vnitřní teplota, která je dole pod stropem nezalepeného detailu 18,4 °C, mezi stropy 21,1 °C a nad stropem zalepeného detailu potom 22,2 °C, což bylo zapříčiněno rozložením teploty po výšce místnosti, ve které experiment probíhal.



Obrázek 45 - vnitřní okrajové podmínky pro validaci – zdroj [5]

3.2.3 Venkovní okrajové podmínky

Obdobně jako v přechozí vnitřní, jsou i vnější okrajové podmínky přizpůsobeny specifickým hodnotám naměřeným při experimentu. Už se však nejedná o jednotlivé hodnoty, vztažené k určitému místu, ale o fixní údaje, použité jak u **z_vali_po_30_8_o1** tak u **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05** jako okrajové podmínky kompletně pro celý exteriér. Hodnoty pro exteriér t_e a RH_e jsou uvedeny v tabulce níže (viz. Tabulka 12)

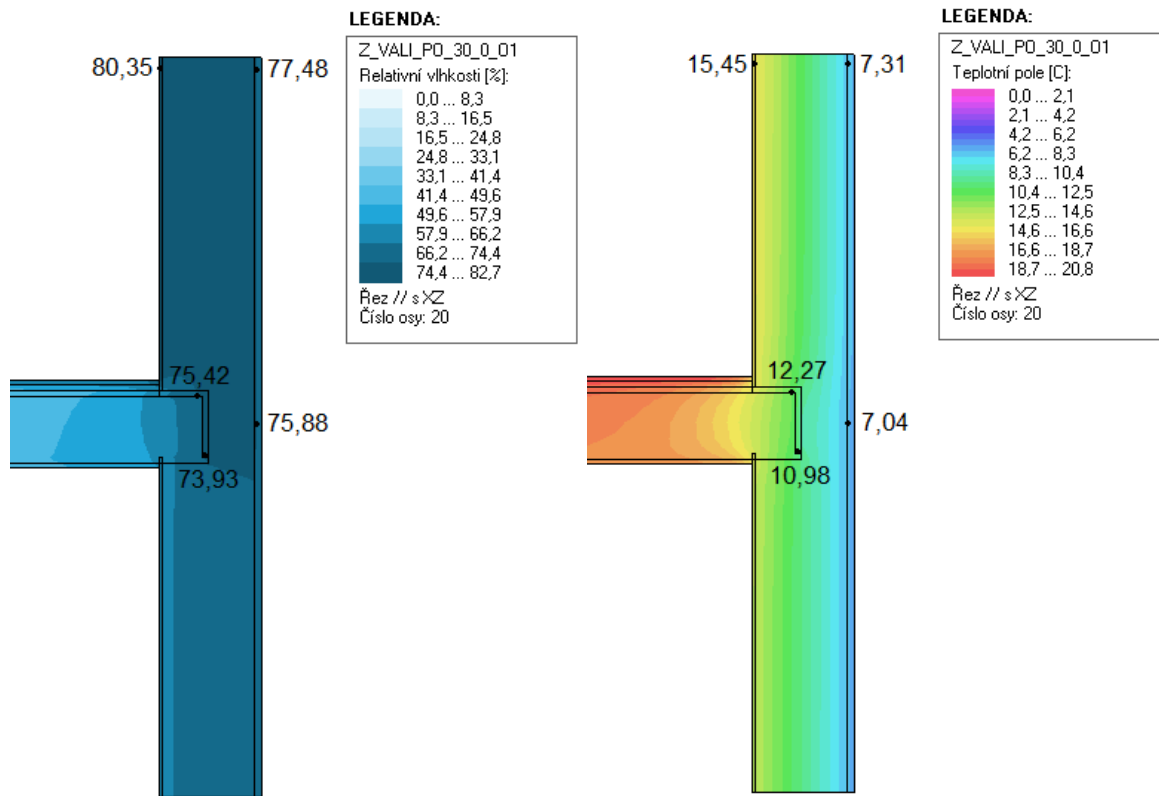
Tabulka 12 - vnější okrajové podmínky – validační

Označení sady okr. podmínek	Teplota vnitřního vzduchu t_e [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_e [%]
-	6,0	74,7

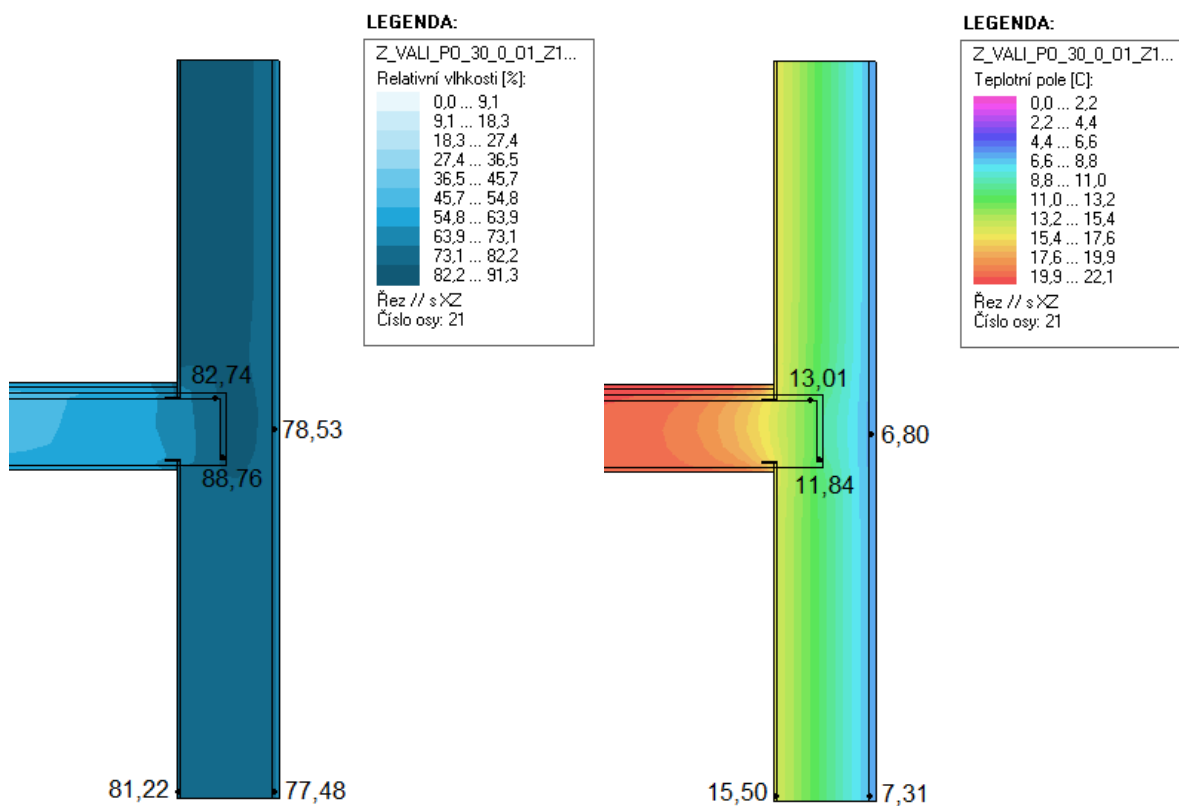
3.2.4 Vyhodnocení výsledků – srovnání s reálným experimentem

Z validačního provedení výpočtového 3D modelu byly získány výstupy jednak ve formě grafické, druhak z nich přímo pomocí softwaru Cube 3D 2017 byly získána číselná data v konkrétních referenčních bodech. Kombinací těchto výstupů byly vytvořeny obrázky (viz. Obrázek 46 až Obrázek 49) zobrazující pole relativních vlhkostí a teplot, ve kterých jsou vyznačeny hodnoty těchto veličin v referenčních bodech umožňujících srovnání s výsledky reálného experimentu.

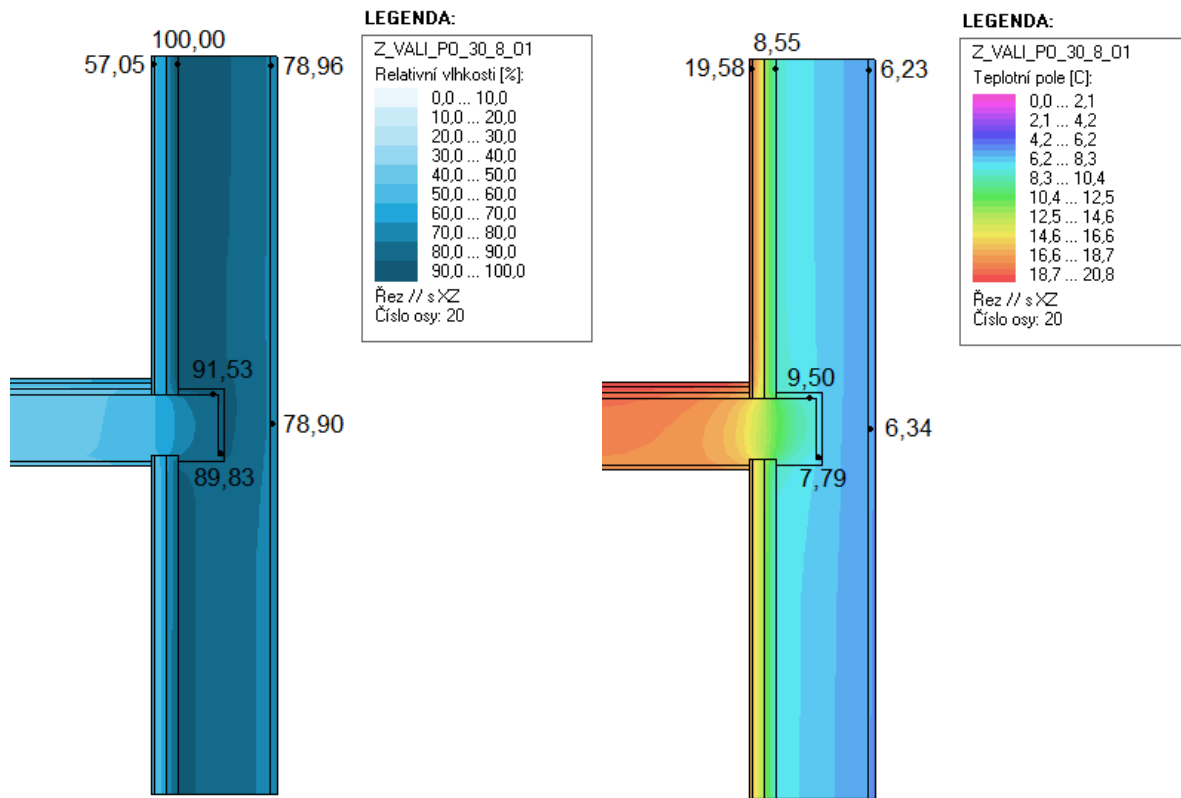
Obrázek 50 pak zobrazuje výsledky experimentálního měření, spolu s jeho průměrnými okrajovými podmínkami za dané období. Tyto jsou zobrazeny jako řezy detailem trámových kapes pro 4 různé varianty experimentu, vlevo je vždy umístěna obvodová stěna, ze které směrem do prava vybíhá stropní konstrukce. Červeným a modrým písmem jsou okrajové podmínky (shora: teplota ve °C, relativní vlhkost v % a koncentrace vodní páry v g/m^3), černě jsou potom ve stejném pořadí uvedeny hodnoty těchto veličin naměřené pomocí senzorů v různých místech detailů, respektive v místě typické skladby konstrukce.



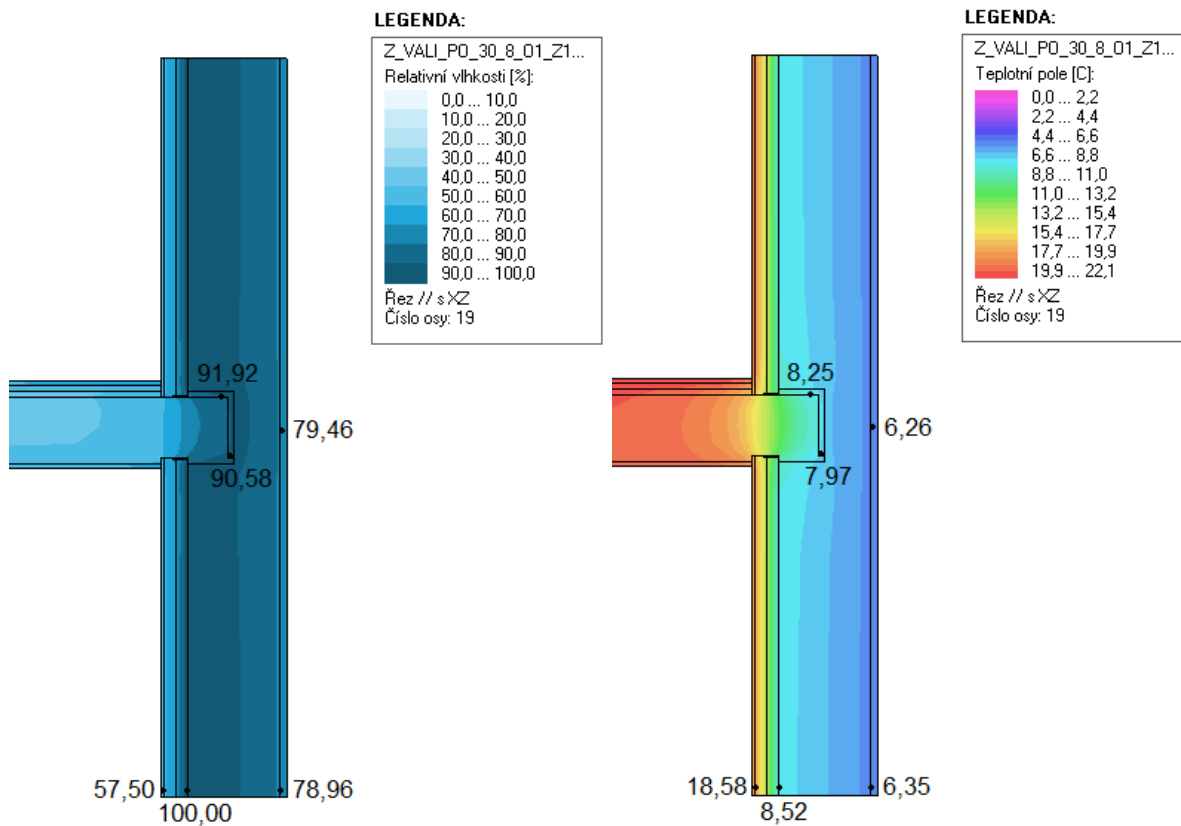
Obrázek 46 - z_vali_po_30_0_01 - pole RH a teplot[% , °C] – zdroj [16b]



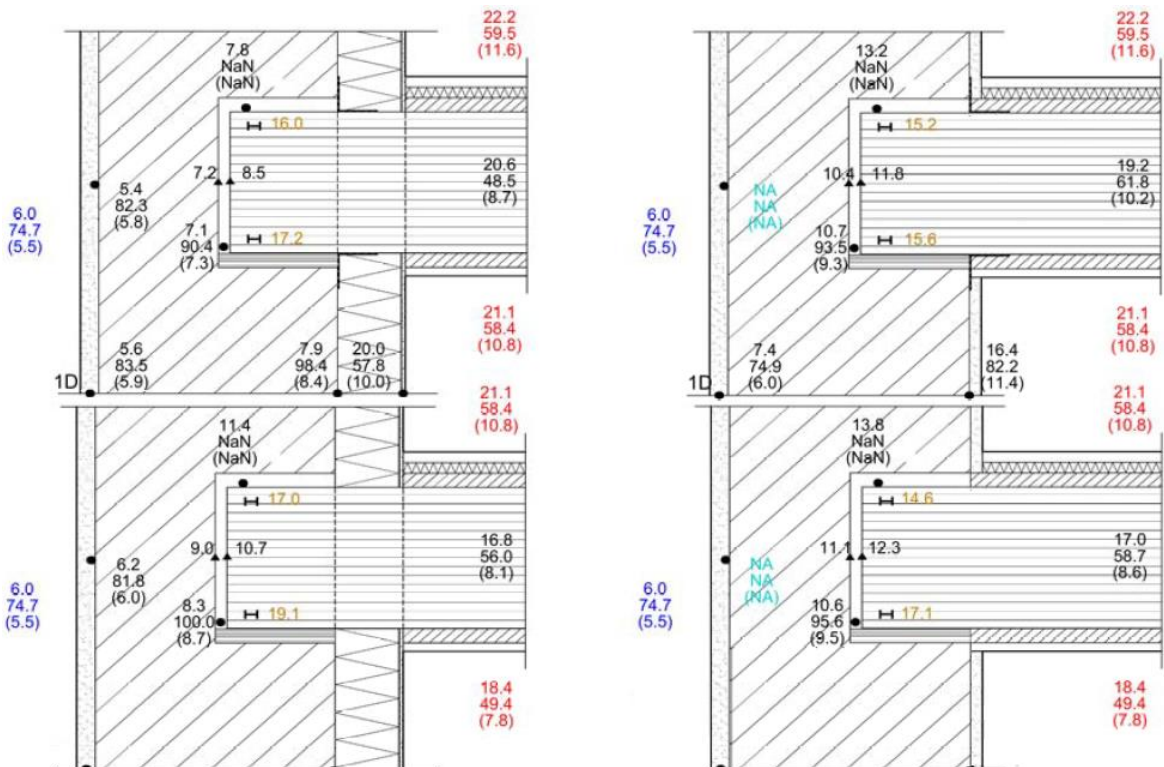
Obrázek 47 - z_vali_po_30_0_01_z1_05_05 - pole RH a teplot[% , °C] – zdroj [16b]



Obrázek 48 - z_vali_po_30_8_o1 – pole RH a teplot[% , °C] – zdroj [16b]



Obrázek 49 - z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05 - pole RH a teplot [% , °C] – zdroj [16b]



Obrázek 50 - okrajové podmínky experimentu a výsledky měření [°C; %; g/m³] – zdroj [5]

Na základě výše zobrazených výstupů z programu Cube 3D 2017 lze částečně porovnat použitý 3D model, respektive jeho výsledky s reálným měřením. Pokud porovnáme výsledky v bodech pole teplot, které jsou umístěné v běžné skladbě stěny, vidíme že rozdíly mezi zalepenou a nezalepenou variantu jsou minimální a tyto hodnoty přibližně odpovídají i hodnotám z reálného experimentu. Pokud stejném srovnání vystavíme hodnoty RH [%] zjištěné v těchto bodech, lze opět konstatovat že se s odchylkou v řádech jednotek % stále blíží hodnotám zjištěným při reálném měření.

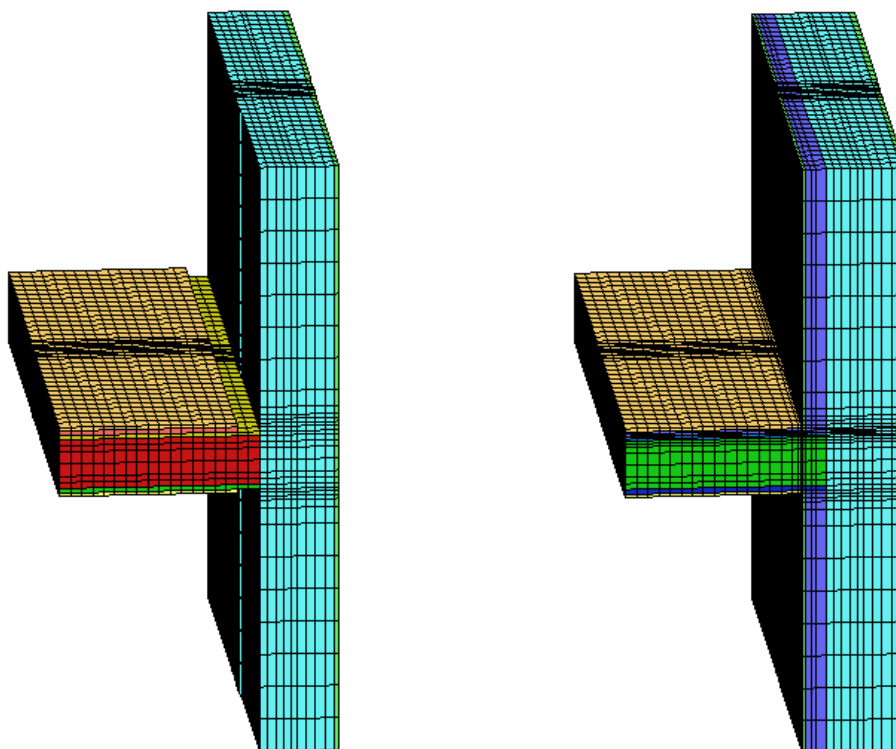
Naproti tomu u bodů v prostoru trémové kapsy v případě teplotního pole konstatovat obdobnou přesnost. Větší odchylky, lze ovšem v těchto bodech zaznamenat u hodnot RH [%]. Z validace v tomto směru nejhůře vyšla nezateplené stěny bez zalepení páskou, kde odchylka pro hodnoty RH [%] přesahuje 10 %, u nezateplené stěny se zalepenou kapsou je situace o něco lepší. Obecně lze konstatovat, že u zalepených trémových kapes vyšly odchylky menší. Za nejpřesnější lze poté označit variantu modelu **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05**, u které odchylka od srovnatelné reálné trémové kapsy činí u hodnoty RH [%] přibližně jen 0,6 %.

Tuto situaci si lze vysvětlit pravděpodobně rozdíly, v parametrech a chování vzduchové mezery v trémové kapse, mezi reálným experimentem a výpočetním modelem. K tomu názoru přispívá i fakt, že právě zalepení vzduchové mezery přispělo ke zpřesnění výpočtu.

3.3 Výsledky pro jednotlivé varianty 3D modelu

3.3.1 Provedení vnitřního zateplení

Za účelem zjištění vlivu různých provedení vnitřního zateplení na podmínky v trémové kapse byly vybrány dvě základní varianty trojrozměrného stacionárního výpočtového modelu. Jedná se o variantu **z_2050_po_30_8_o1**, která počítá s dodatečným vnitřním zateplením dřevovláknitou izolací v tloušťce 80 mm, průběžným po celé výšce obvodové stěny a variantu **z_2050_po_30_8x_o1**, u které je vnitřní zateplení přerušeno v úrovni stropní konstrukce. Tento rozdíl v provedení vnitřního zateplení, tedy jeho průběžnost, respektive neprůběžnost, je zásadní z hlediska provádění tohoto opatření s ohledem na míru zásahu do původní konstrukce stropu. Materiálové charakteristiky a okrajové podmínky jsou pro obě tyto varianty, až na základní specifické odlišnosti, v zásadě shodné. Jako referenční varianta byla zvolena **z_2050_po_30_0_o1**, která reprezentuje původní stav obvodové zděné konstrukce tl. 300 mm bez zateplení.

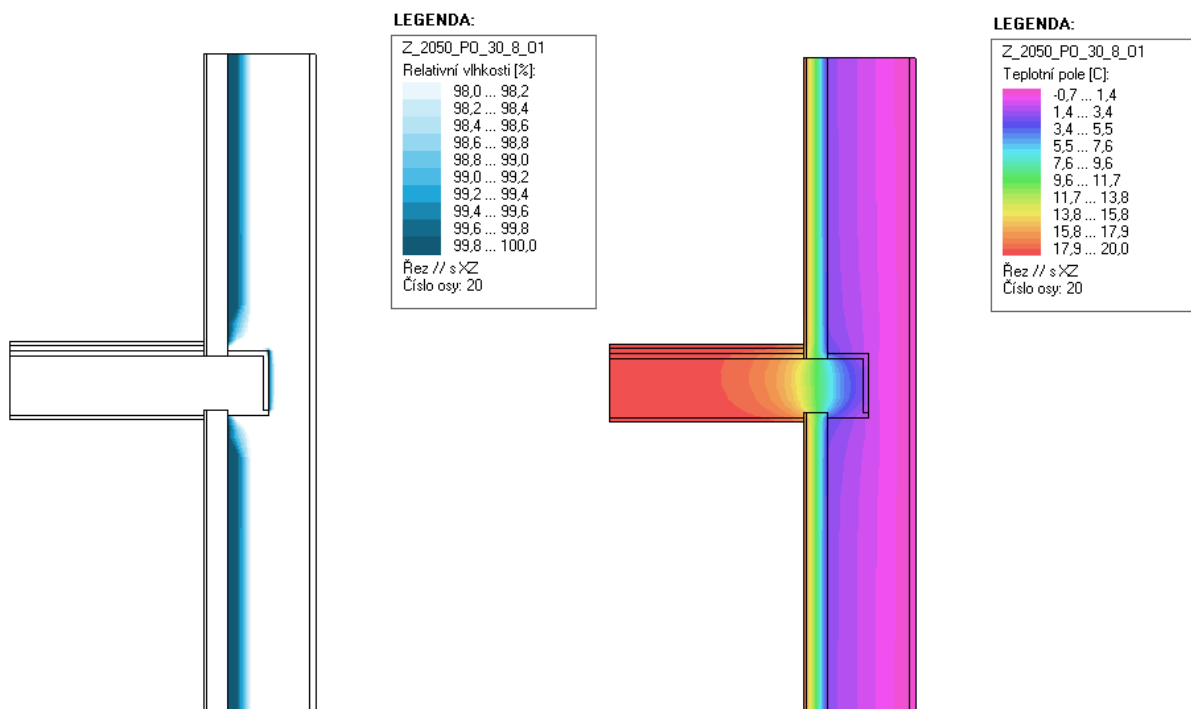


Obrázek 51 – 3D model var. **z_2050_po_30_8x_o1** – zdroj [16b]

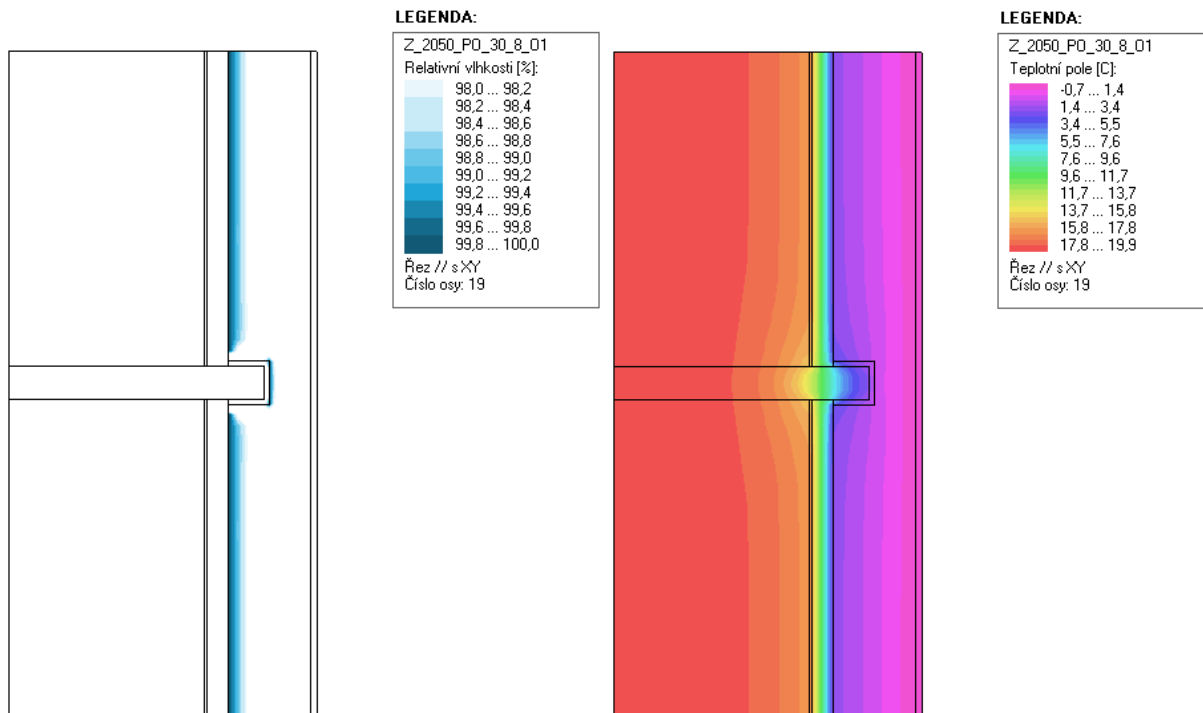
Obrázek 51 zobrazuje model specifické varianty **z_2050_po_30_8x_o1** s neprůběžným vnitřním zateplením, ten je zde zobrazen dvěma různými způsoby. První z nich (vlevo) zobrazuje 3D model s vypnutou částí souvrství vnitřní tepelné izolace, druhý (vpravo) zobrazuje stejný model již kompletní. Na tomto modelu je možné si povšimnout, že část souvrství stropní konstrukce je ukončena před rovinou omítky na vnitřním zateplovacím systém, zatímco jiná část prochází až na rovinu původního vnitřního líce zdiva. Červenou barvou vlevo, respektive zelenou vpravo je na tomto obrázku označena vzduchová mezera v souvrství stropní konstrukce, která odpovídá výšce stropního trámu.

Výsledky

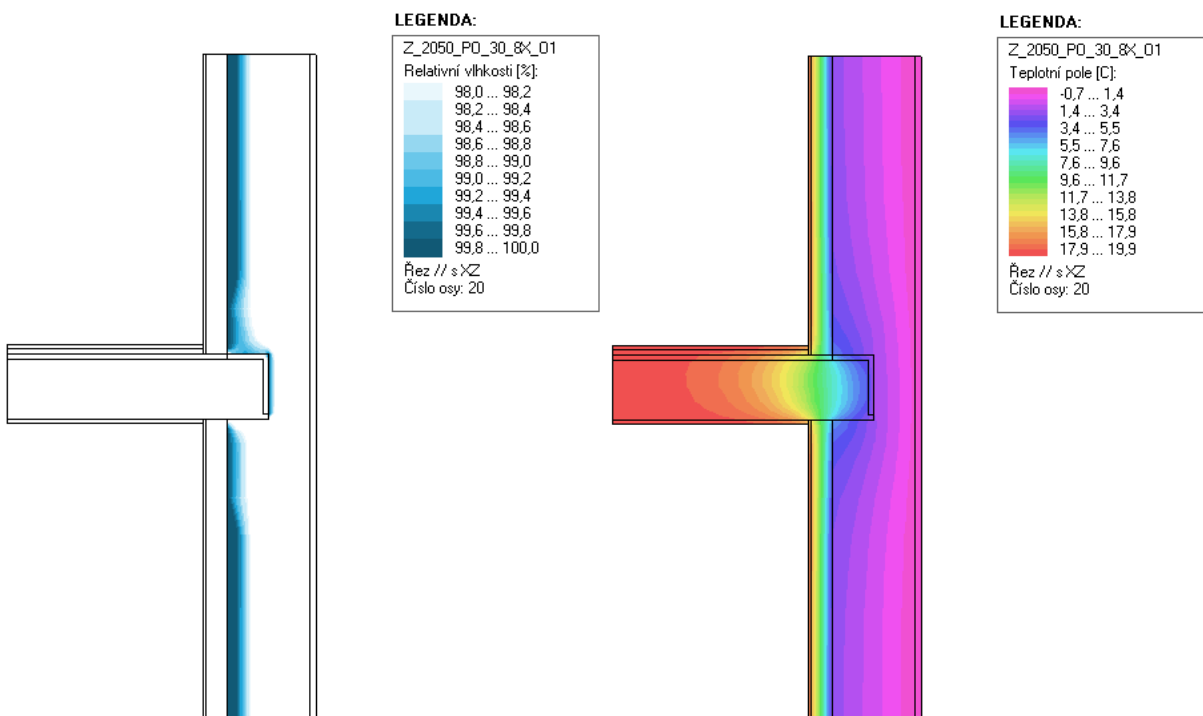
Výpočtem v programu Cube 3D 2017 byly pro tyto varianty výpočtového modelu získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace prostřednictvím vybraných polí relativní vlhkosti v rozmezí hodnot 98 % až 100 % a dále grafické výstupy zobrazující pole teplot (viz. Obrázek 52 až Obrázek 57). Tato pole jsou prezentována prostřednictvím dvou řezů ležících v rovinách xz a xy (orientace viz. Obrázek 42 a Obrázek 43), přičemž u roviny xz se rovná o svislý řez a u roviny xy o vodorovný řez vedený prostorem trémové kapsy a přilehlými konstrukcemi.



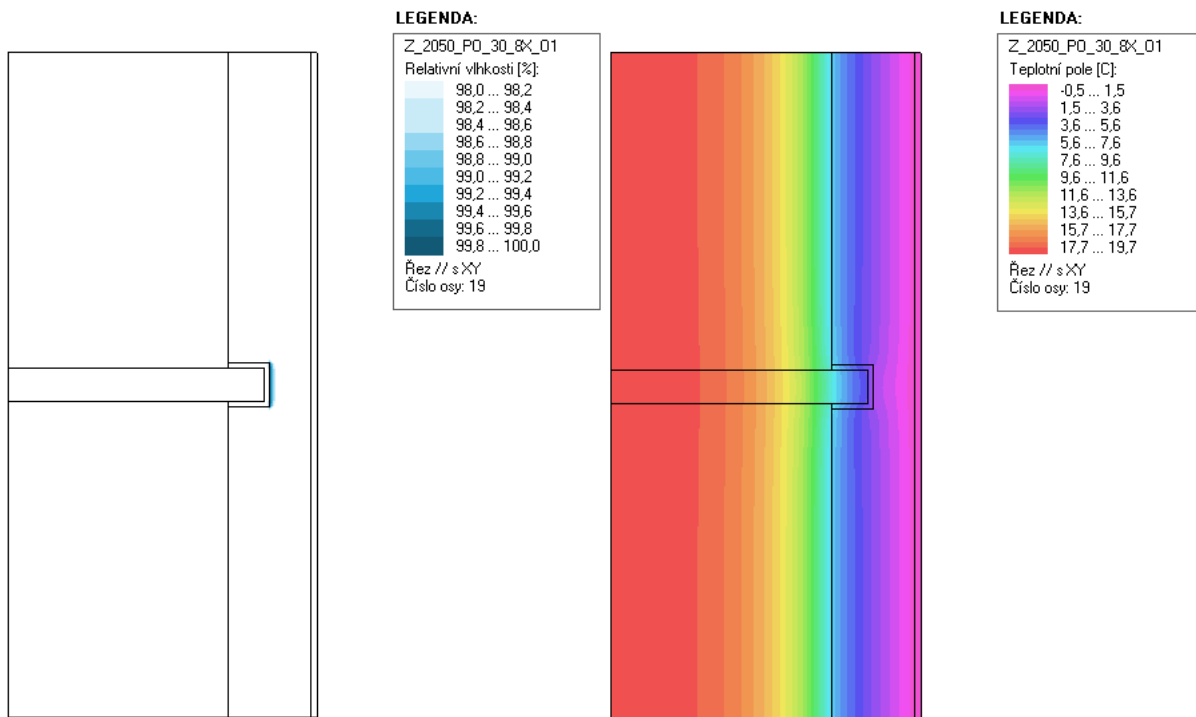
Obrázek 52 – z_2050_po_30_8_o1 – svislý řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



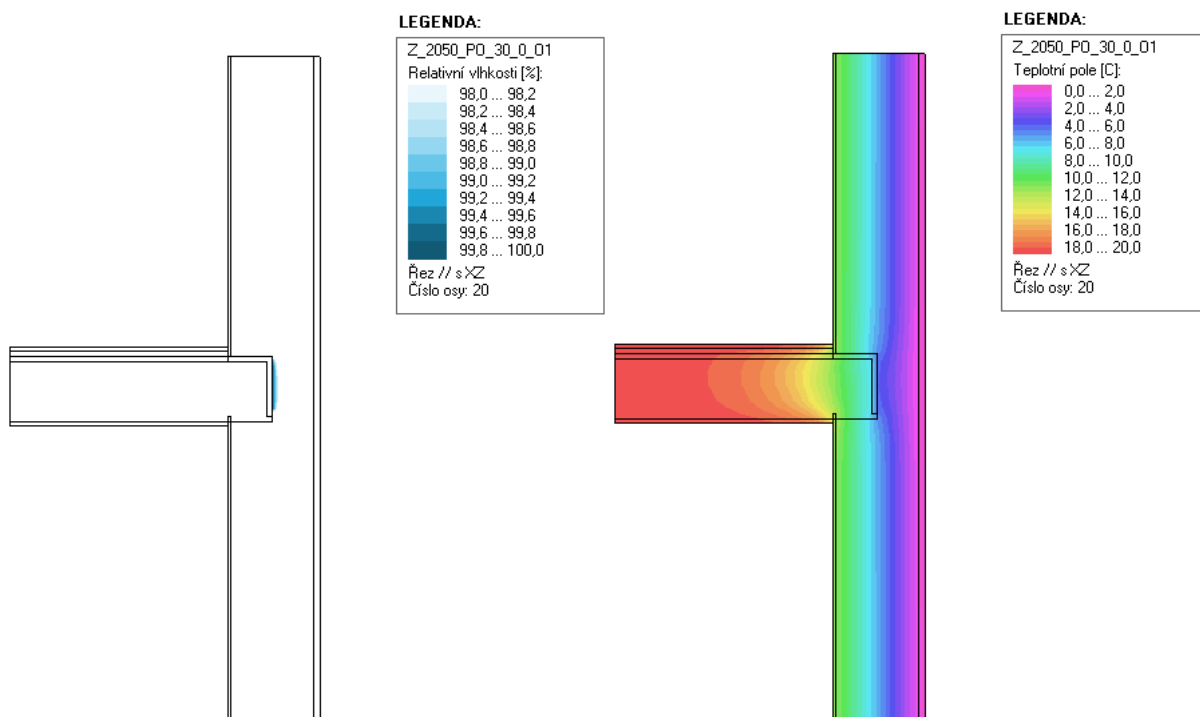
Obrázek 53 - z_2050_po_30_8_o1 – vodorovný řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



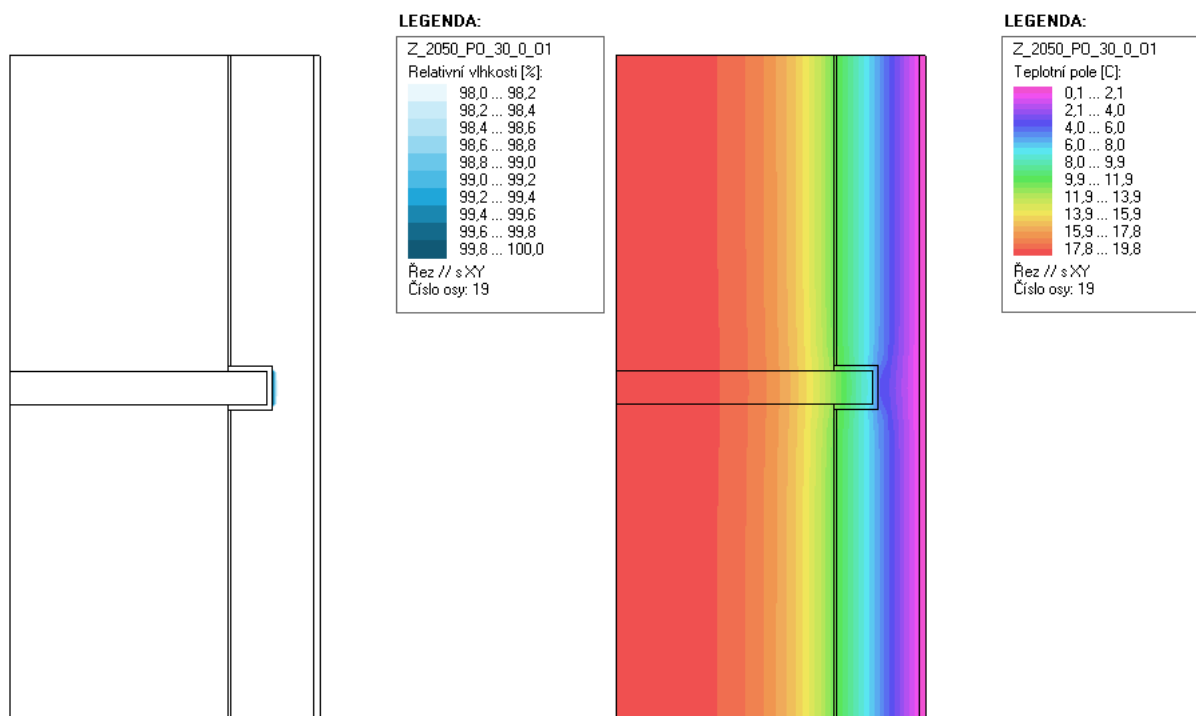
Obrázek 54 – z_2050_po_30_8x_o1 – svislý řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



Obrázek 55 - z_2050_po_30_8x_01 – vodorovný řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b]



Obrázek 56 - z_2050_po_30_0_01 (ref.) – svislý řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b]



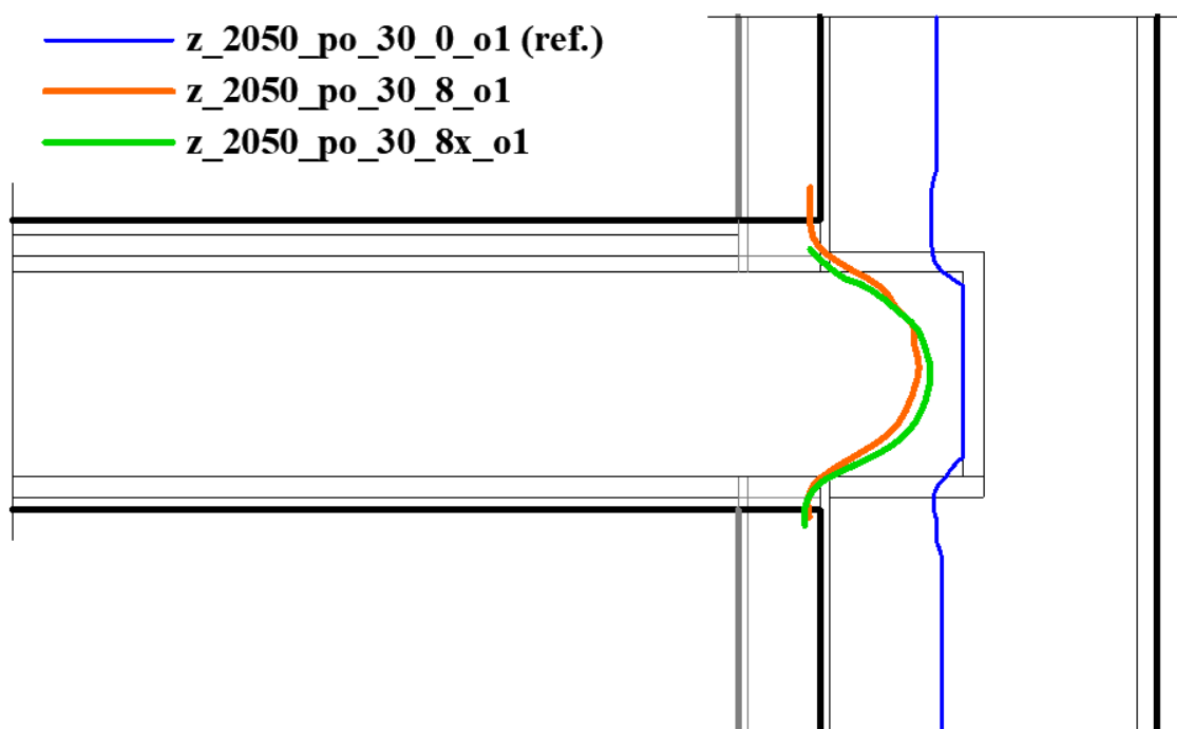
Obrázek 57 -z_2050_po_30_0_o1 (ref.) – vodorovný řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b]

Z hlediska předpokládaných oblastí kondenzace jsou jak ve vodorovném, tak svislém řezu jasně patrné určité rozdíly mezi zkoumanými variantami. U referenční varianty **z_2050_po_30_0_o1** je zřetelná pouze malá oblast kondenzace v prostoru roviny čela zdiva v trémové kapse. U první vnitřně zateplené varianty **z_2050_po_30_8_o1** se vyskytují výrazné kondenzační zóny na rozhraní tepelné izolace a zdiva, lze však také si povšimnout, že kondenzační zóna v trémové kapse je o něco výraznější než u nezateplené referenční varianty. U druhé varianty s neprůběžným vnitřním zateplením, tedy var. **z_2050_po_30_8x_o1** si můžeme povšimnout jasných odlišností do té první především ve vodorovném řezu, kde obdobně jako u referenční není zobrazena tepelná izolace, neboť řez je veden rovinou, kde není aplikována. Nejsou zde tedy patrné ani kondenzační zóny na jejím rozhraní se zdívem. Naproti tomu ve svislém řezu jsou mezi oběma variantami s vnitřním zateplením parné pouze dílčí drobné odlišnosti v poloze předpokládaných kondenzačních zón, a to především v prostoru přímo nad trémovou kapsou.

U výše zobrazených teplotních polí je, po aplikaci vnitřního zateplení, patrné značné zúžení zelené a světle modré oblasti spektra, tato jeho část je pak situována právě ve vrstvě tepelné izolace a přibližně odpovídá klesajícímu teplotnímu intervalu +14 °C až +6 °C. Toto zúžení dané části spektra se ovšem při neprůběžném zateplení v místě detailu kapsy opět

lokálně rozšiřuje. U zateplených variant je také patrné výraznější zakřivení hranic jednotlivých barevných oblastí v prostoru trámové kapsy.

Dále byl na základě grafických výstupů polí relativní vlhkosti z programu Cube 3D 2017 sestaven srovnávací diagram zobrazující průběh izolinií relativní vlhkosti pro hodnotu RH = 85 % (viz. Obrázek 58). Tento diagram v sobě kombinuje izolinie pro obě zkoumané varianty zateplení i pro variantu referenční. Obrysy konstrukce, rozdílné pro jednotlivé varianty jsou naznačeny šedou barvou. Součástí tohoto diagramu je legenda, která popisuje barevné odlišení izolinií pro jednotlivé zobrazené varianty výpočtového modelu.



Obrázek 58 – svislý řez - izolinie RH = 85 % – zdroj [16b]

Na tomto diagramu (viz. Obrázek 58) si můžeme povšimnout, že u původního provedení obvodové zděné stěny, tedy referenční varianty bez zateplení, se průběh izolinie pro hodnotu RH = 85 % pohybuje přibližně v první třetině tloušťky zdiva (ve směru z interiéru do exteriéru) a vlastního dřevěného trámu se dotýká pouze okrajově. Naproti tomu u varianty **z_2050_po_30_8_o1** s aplikovanými vnitřním průběžným zateplením se průběh izolinie pro hodnotu RH = 85 % posouvá blíže do interiéru, ve skladbě obvodové stěny začíná nahoře i dole v dřevovláknité izolační desce, v těsné blízkosti rozhraní mezi touto deskou a původní zdí. Ve vlastním prostoru trámové kapsy se pak postupně posouvá směrem do exteriéru, stále však přímo prochází dřevěným trámem. Průběh izolinie pro var. **z_2050_po_30_8x_o1**

s aplikovaným neprůběžným vnitřním zateplením se od první varianty zateplení nijak dramaticky neliší, je pouze posunut mírně doprava a dolů a jeho tvar je o něco ostřeji zaoblen.

Interpretace výsledků

Při porovnání předpokládaných oblastí kondenzace všech zde popisovaných variant modelu, lze konstatovat, že s provedením vnitřního zateplení došlo kondenzace na původním vnitřním líci zdiva, tedy na rozhraní mezi tepelným izolantem a nosným zdivem. Toto lze připisovat již dříve popsaná změně průběhu teplot v příčném řezu stěnou. S tím částečně koresponduje i mírné zvětšení oblasti kondenzace v čele trámové kapsy, kde se povrchová teplota rovněž snížila.

Rozdíly mezi průběžnou a neprůběžnou variantou zateplení, dobře patrné především na grafických výstupech teplotních polí, lze připisovat případné absenci tepelného izolantu v rovině skladby stropní konstrukce. Průběh těchto teplotních polí je v takovém případě ovlivněn právě nezateplením okolí trámové kapsy v oblasti stropu, což má patrně za následek lepší vedení tepla do prostoru kapsy z bočních stran.

Z rozdílů v průběhu izolinie $RH = 85 \%$ lze vyvodit, že s provedením vnitřního zateplení bez případných dalších opatření, dochází k posunu této izolinie směrem blíže k interiéru a podmínky v trámové kapse se tak v tomto ohledu zhoršují. Jedná se o obdobný jev, který byl již částečně popsán v kapitole o 2D modelu, a který souvisí se změnami v průběhu linií teplotního pole. Rozdílný průběh izolinie $RH = 85 \%$ mezi variantami **z_2050_po_30_8_o1** a **z_2050_po_30_8x_o1** lze připisovat také lepšímu kontaktu prostředí v trámové kapse s vnitřním prostředím, respektive s prostředím v prostoru skladby stropní konstrukce u varianty s neprůběžným zateplením. V tomto případě tepelná izolace nepřiléhá z boků přímo k dřevěnému trámu a tím vzniká otevřená mezera propojující vzduchové mezery v trámové kapse a stropní konstrukci. Lze tedy konstatovat, že provedení neprůběžného vnitřního zateplení, tedy takového, které je v rovině stropu přerušeno, zhoršuje podmínky v trámové kapse z hlediska rizika růstu plísní. Z hlediska kondenzace nebylo výrazné zhoršení u této varianty, ve srovnání s průběžným zateplením, zjištěno.

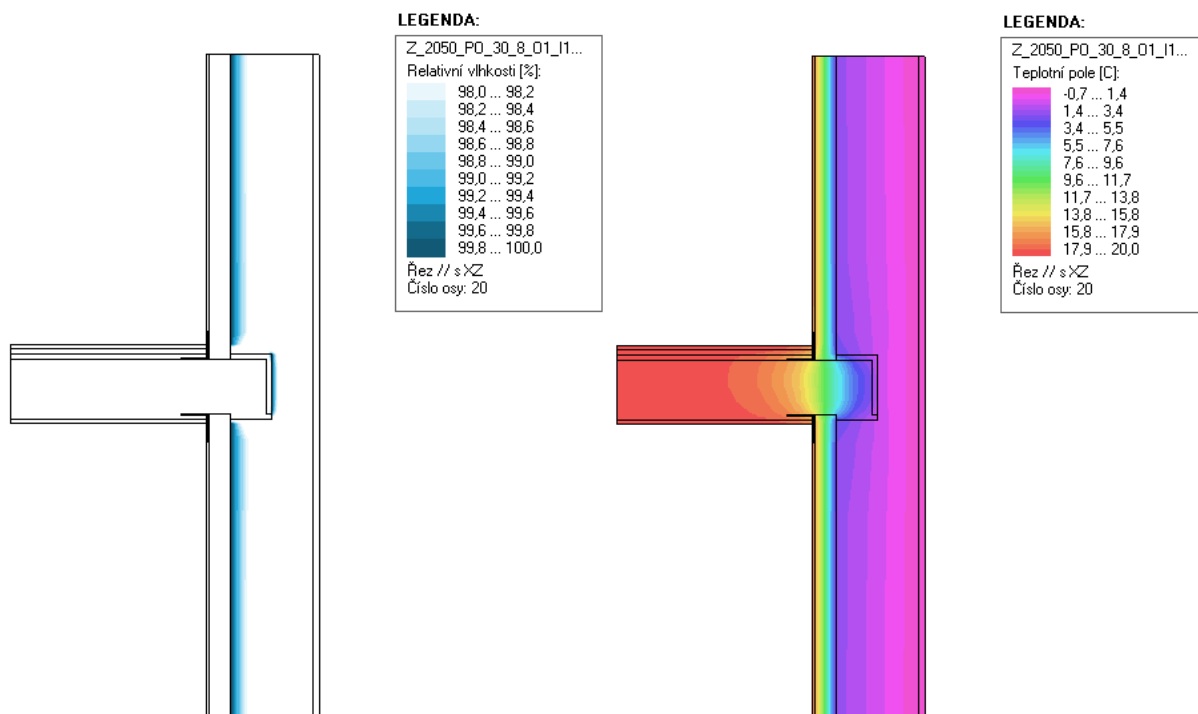
3.3.2 Zateplení trámové kapsy – poloha těsnicí pásky

Za účelem zjištění vlivu polohy parotěsnicí pásky na podmínky v trámové kapse byly zpracovány dvě základní varianty trojrozměrného stacionárního výpočtového modelu. Jedná se o variantu **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10**, u které je manžeta, tvořená parotěsnicí páskou,

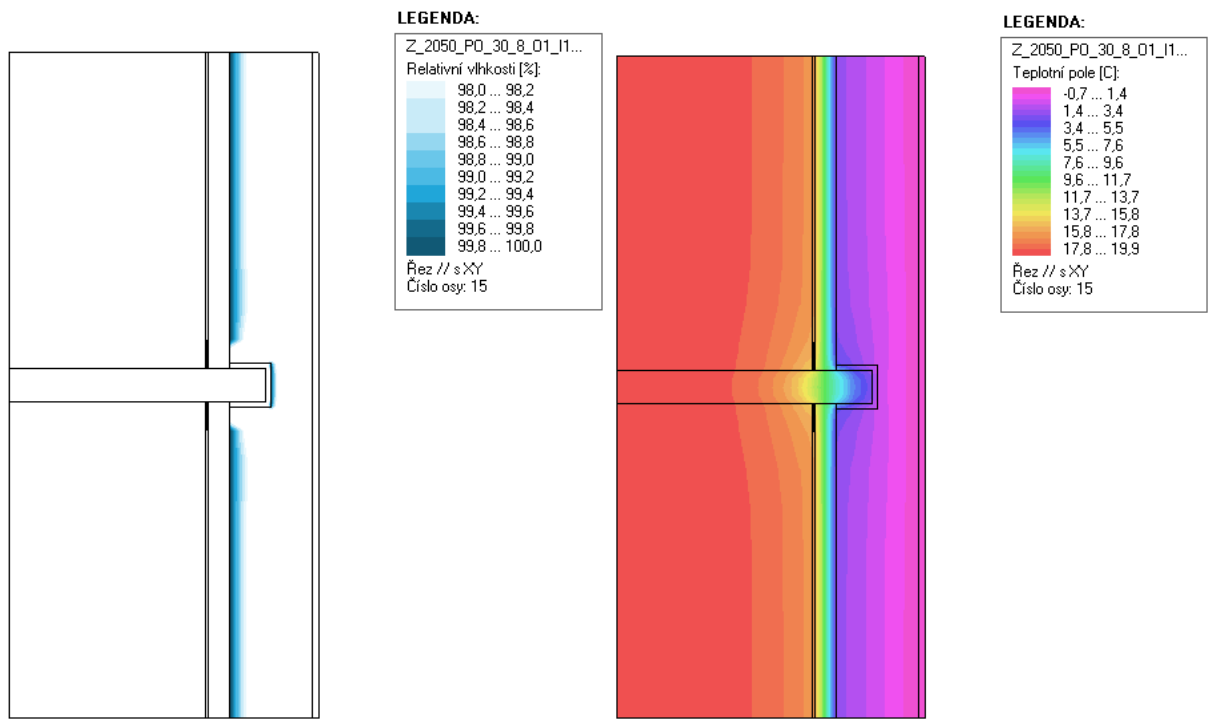
situována na rovinu rozhraní vnitřní omítky a povrchu tepelně izolační desky a variantu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**, u které je zmíněná manžeta osazena na trám v rovině rozhraní mezi tepelnou izolací a původním zdívem. Přesahy pásky jsou u obou těchto variant ve směru všech tří os stejné, jedná se vždy o 10 cm. Jako třetí, referenční varianta, byla zvolena **z_2050_po_30_8_o1**, u které není trámová kapsa zalepena páskou. Všechny tři zde zkoumané varianty jsou vnitřně zatepleny stejnou tloušťkou dřevovláknité tepelné izolace, která činí vždy 8 cm. Materiálové charakteristiky a okrajové podmínky jsou rovněž pro všechny tyto varianty, až na základní specifické odlišnosti, v zásadě shodné.

Výsledky

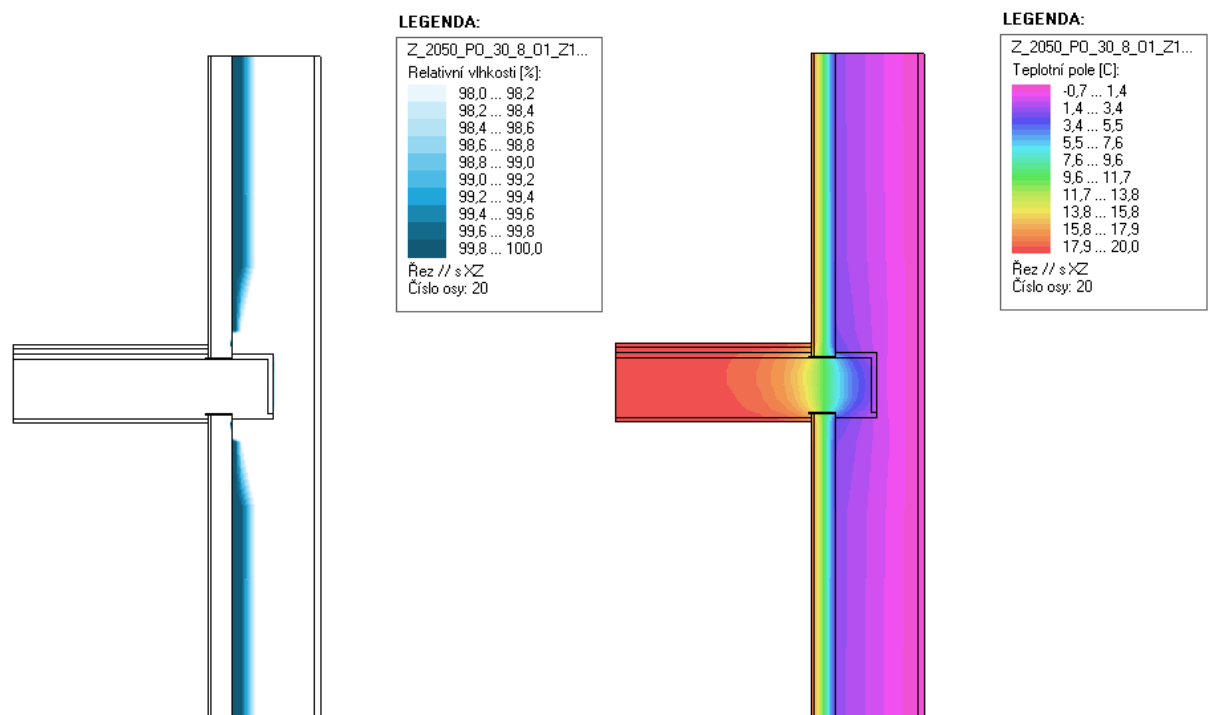
Výpočtem v programu Cube 3D 2017 byly pro varianty výpočtového modelu **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10** a **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace prostřednictvím vybraných polí relativní vlhkosti v rozmezí hodnot 98 % až 100 % a dále grafické výstupy zobrazující pole teplot (viz. Obrázek 59 až Obrázek 62). Tato pole jsou zobrazena ve formě dvou řezů ležících v rovinách xz a xy (orientace viz. Obrázek 42 a Obrázek 43), přičemž u roviny xz se rovná o svislý řez a u roviny xy o vodorovný řez vedený prostorem trámové kapsy a přilehlými konstrukcemi.



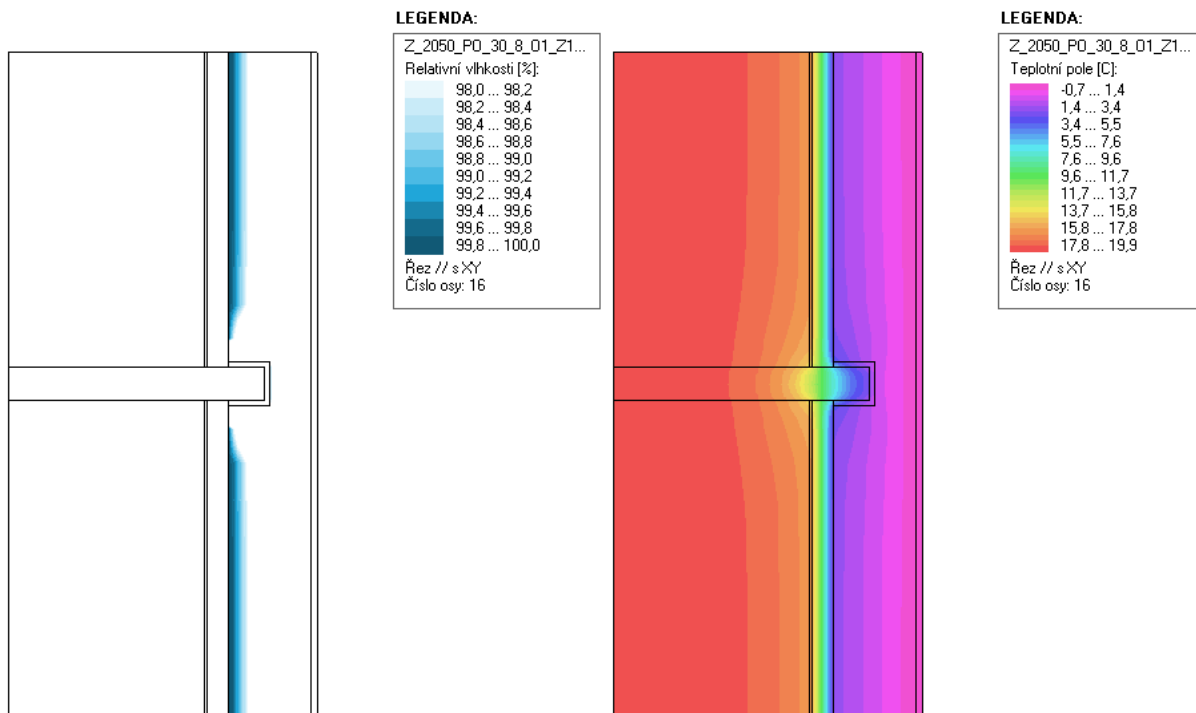
Obrázek 59 – z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



Obrázek 60 – z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – vodorov. řez – předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



Obrázek 61 – z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]

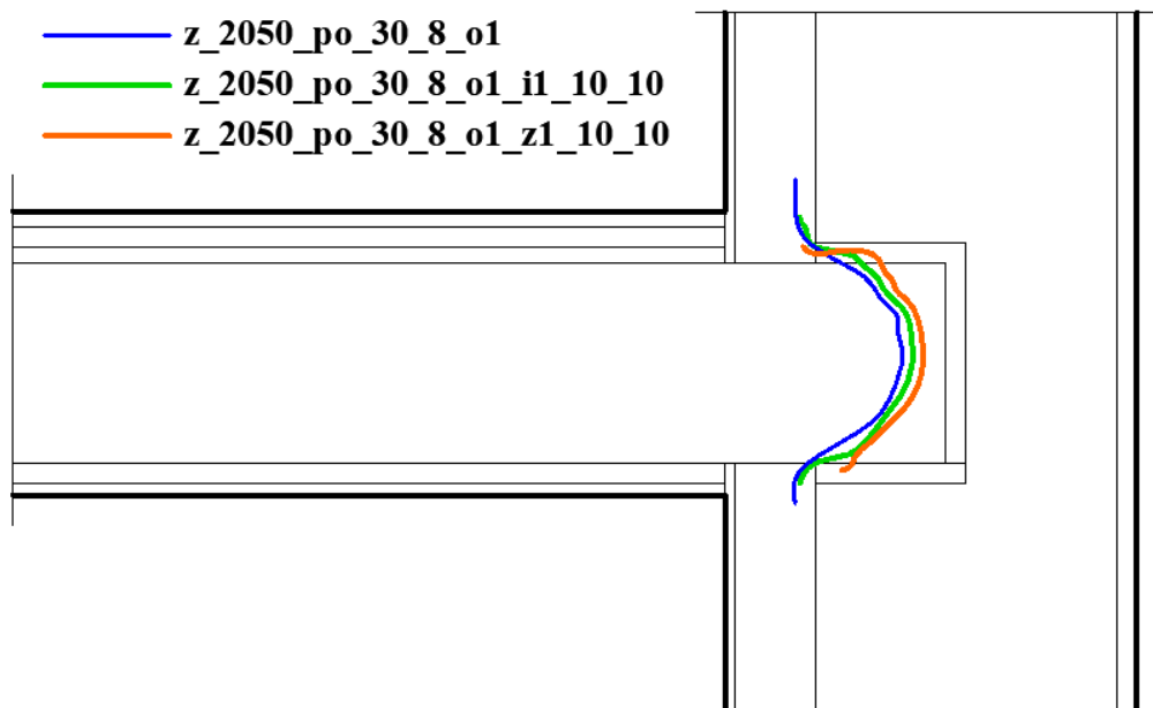


**Obrázek 62 – z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – vodorov. řez – předp. oblastí kond. a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]**

Co se týče předpokládaných oblastí kondenzace, lze si v obou řezech povšimnout rozdílů mezi oběma zkoumanými variantami. U varianty **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10** jsou patrné méně výrazné kondenzační zóny na rozhraní mezi tepelnou izolací a zdivem a dále také malá oblast kondenzace v prostoru roviny čela trámové kapsy. U varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**, se zalepením na zdivu, se oproti tomu vyskytují výraznější kondenzační zóny na rozhraní tepelné izolace a zdiva, zatímco v čele trámové kapsy se žádná kondenzace nevyskytuje.

U vyobrazených teplotních polí nejsou patrné žádné výrazné rozdíly mezi variantami.

Na základě grafických výstupů polí relativní vlhkosti z programu Cube 3D 2017 byl také sestaven srovnávací diagram zobrazující průběh izolinií relativní vlhkosti pro hodnotu $RH = 85 \%$ (viz. Obrázek 63). Tento diagram v sobě kombinuje izolinie pro obě zkoumané varianty a variantu referenční. Součástí tohoto diagramu je také legenda, která popisuje barevné odlišení izolinií pro jednotlivé, v něm porovnávané, varianty výpočtového modelu.



Obrázek 63 – svislý řez - izolinie RH = 85 % – zdroj [16b]

Na tomto obrázku si můžeme povšimnout, že průběh všech tří zobrazených izolinií je relativně podobný, nejsou zde žádné dramatické změny, spíše jen drobné posuny. Nejbližší interiéru leží izolinie pro referenční variantu, která je značena modrou barvou. Následuje, zeleně označená, izolinie pro var. **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10** a nejbližše směrem k exteriéru je pak izolinie pro var. **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**. Všechny tři však přímo procházejí dřevěným trámem.

Interpretace výsledků

V této podkapitole byl, na výpočetním stacionárním 3D modelu, zkoumán rozdíl mezi dvěma různými polohami umístění parotěsnicí pásky. Pokud jde o svislé řezy, zobrazující předpokládané kondenzační zóny, lze říci že se na nich poloha pásky projevila obdobným způsobem jako na srovnatelných výstupech 2D modelu. Projevil se tedy podobný princip, spočívající ve výrazně lepším tzv. „odstínění“, či přesněji odklonění transportních procesů, z oblasti trámové kapsy u varianty se zalepení na zdivu, u které nedochází ke kondenzaci v rovině čela trámové kapsy a kondenzace na rozhraní vnitřního zateplení a zdiva je odsunuta dále od kapsy.

V tomto směru ovšem mírně překvapil vodorovný řez (viz. Obrázek 60) pro variantu **z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10**, u kterého je zřejmé o něco větší odsunutí kondenzačních zón od hrany trámové kapsy na zmíněném rozhraní než u řezu svislého.

Výstupy teplotních polí jsou pro obě varianty v zásadě téměř totožné, což není žádným překvapením, neboť samotná poloha pásky zjevně nemá zásadní vliv na tepelně izolační vlastnosti celku, a to ani v lokálním měřítku.

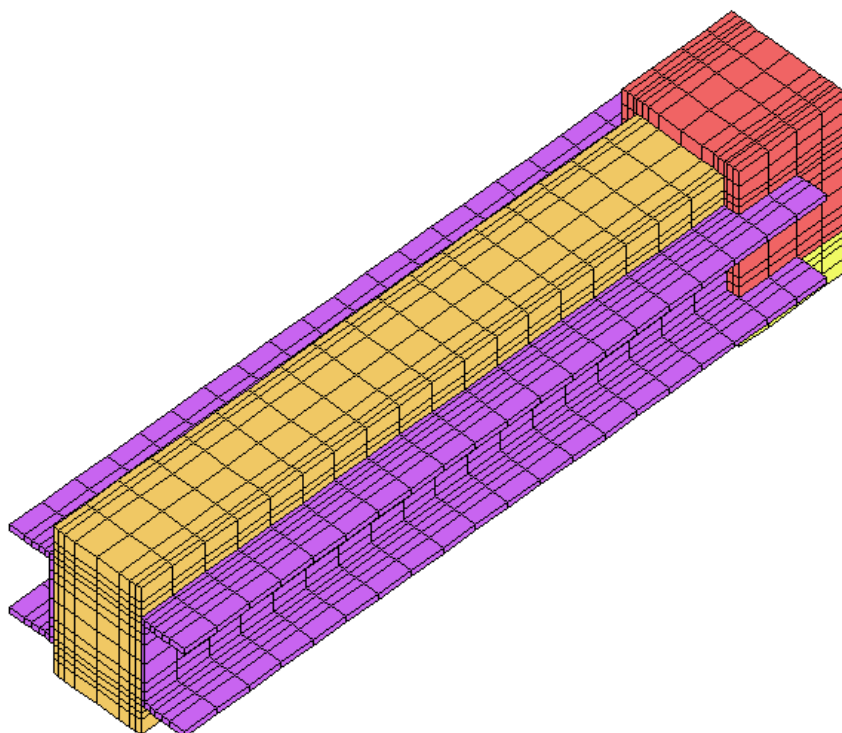
Na průběhu izolinií relativní vlhkosti se opět projevují podobné principy, které byli již zjištěny v podkapitole 2.3.2. To znamená, že při zalepení páskou v rovině rozhraní zdiva a tepelné izolace (tj. u varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10**) došlo v zateplené stěně k mírnému odsunutí izolinie směrem do exteriéru. Toto zlepšení lze, obdobně jako u oblastí kondenzace, přikládat na vrub jednak přímému uzavření vzduchové mezery trámové kapsy páskou, druhak ale také určitému odklonění neboli „odstínění“ transportních procesů, které je zjevně u varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** zvládnuto lépe. Za zvolených stacionárních okrajových podmínek a při použitých opatřeních jsou ovšem v obou případech podmínky v trámové kapse vhodné minimálně pro růst plísní.

3.3.3 Speciální technická opatření

V této podkapitole jsou srovnány modelované varianty reprezentující dvě specifická řešení problému trámového zhlaví ve vnitřně zateplených obvodových stěnách. Jedná se o dvě poměrně rozdílná technická řešení, která však mají společné to, že pomocí přidaného kovového materiálu pomáhají ohřívat prostor trámové kapsy. V některých ohledech tak přispívají ke zlepšení podmínek v trámové kapse, je tím však zároveň také vědomě vytvářen tepelný most. Vzhledem k povaze těchto technických řešení, nebylo možné je nijak zpracovat ve formě 2D modelu, až 3D model přináší právě možnost vymodelovat nejrůznější předměty přiléhající k bočním stěnám trámu.

První zkoumaná varianta **z_2050_po_30_8_o1_upe** vychází z časté nutnosti nahrazení nebo vyztužení poškozené části trámu kovovými příložkami. Hovoříme zde tedy o tzv. „vyprotézování“, které může být provedeno, podobně jako například zde, s pomocí dvou profilů tvaru U. Konkrétně se jedná o profily UPE 120. Trám byl v prostoru trámové kapsy částečně zkrácen a místo dřevěné podložky byl vytvořen betonový podkladek. Obrázek 64 zobrazuje pohled šikmo shora na trojrozměrný model části trámu s ocelovými příložkami z profilů UPE 120. Běžovou barvou je znázorněn vlastní dřevěný trám, fialovou zmíněné

ocelové profily, žlutou betonový podkladek a červenohnědou vzduchová mezera uvnitř trémové kapsy. Tento model vznikl přímo v programu Cube 3D 2017, a to vypnutím většiny modelovaných hmot a následným zobrazením pouze této části modelu.



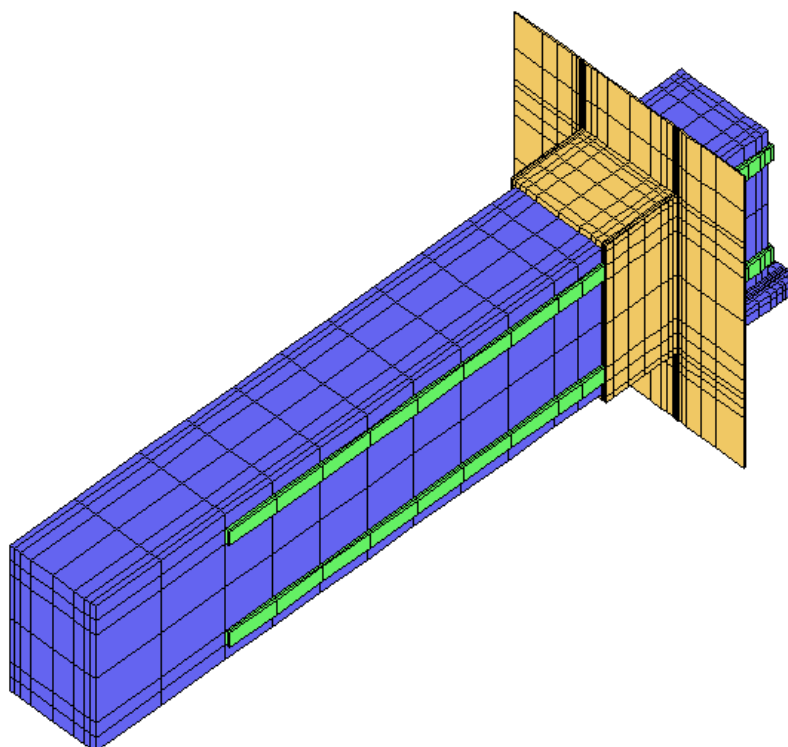
Obrázek 64 - 3D model části trámu s příložkami UPE 120 – zdroj [16b]

Druhá zkoumaná varianta **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky** naopak předpokládá buď zachování stávajícího dřevěného trámu, nebo jeho výměnu za nový, či případné vyprotézování s pomocí tesařských spojů, nebo pomocí příložek nezasahujících do trémové kapsy. Jedná se o variantu využívající dobré tepelné vodivosti hliníku, který je zde použit formou dvou kusů naohýbané hliníkové pásoviny o průřezu 20 x 5 mm. Tyto prvky mají v půdorysu tvar vysokého písmene U, obepínají trémové zhlaví nahoře a dole a přesahují směrem do interiéru do vzdálenosti 750 mm (měřeno od roviny zhlaví).

Jedná se tedy o jakési opásání trámu okolo jeho zhlaví, které zlepšuje přenos tepla do prostoru trémové kapsy. Tato specifická varianta, jak ostatně napovídá její označení, také zahrnuje zalepení trémové kapsy na rozhraní tepelné izolace a zdiva. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 3.1.2 Vlastnosti materiálů, zde modelovaná parotěsnící páska, přiléhající na trám, byla co do geometrie, ale také parametrů specificky upravena. Důvodem k takovému zásahu, byla potřeba vměstnat do modelované tloušťky pásky také zde použitou hliníkovou pásovinu. K tomuto postupu bylo přikročeno z důvodu zjednodušení modelu, omezení počtu

neznámých a tím také zkrácení, již tak časově náročného, procesu výpočtu v programu Cube 3D 2017.

Obrázek 65 zobrazuje pohled na trojrozměrný model části trámu s parotěsnicí manžetou a opásáním pomocí naohýbané hliníkové pásoviny. Vlastní dřevěný trám a podložka na dně trámové kapsy jsou zobrazeny modrou barvou, manžeta tvořená parotěsnicí páskou má barvu béžovou a hliníková pásovina barvu zelenou.



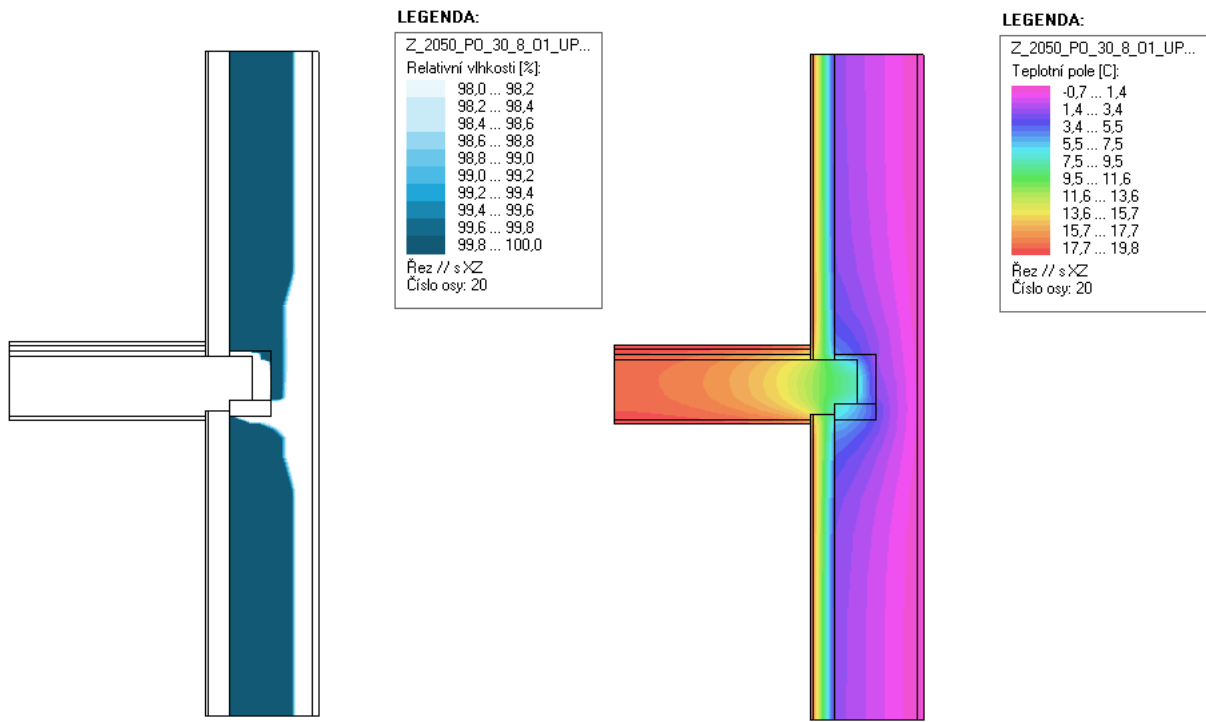
Obrázek 65 - 3D model části trámu s opásaným zhlavím – zdroj [16b]

Jako třetí, referenční varianta, byla zvolena **z_2050_po_30_8_o1**, u které není trámová kapsa zalepena páskou. Všechny tři zde zkoumané varianty jsou vnitřně zatepleny stejnou tloušťkou dřevovláknité tepelné izolace, která činí vždy 8 cm. Materiálové charakteristiky a okrajové podmínky jsou rovněž pro všechny tyto varianty, až na základní specifické odlišnosti, v zásadě shodné.

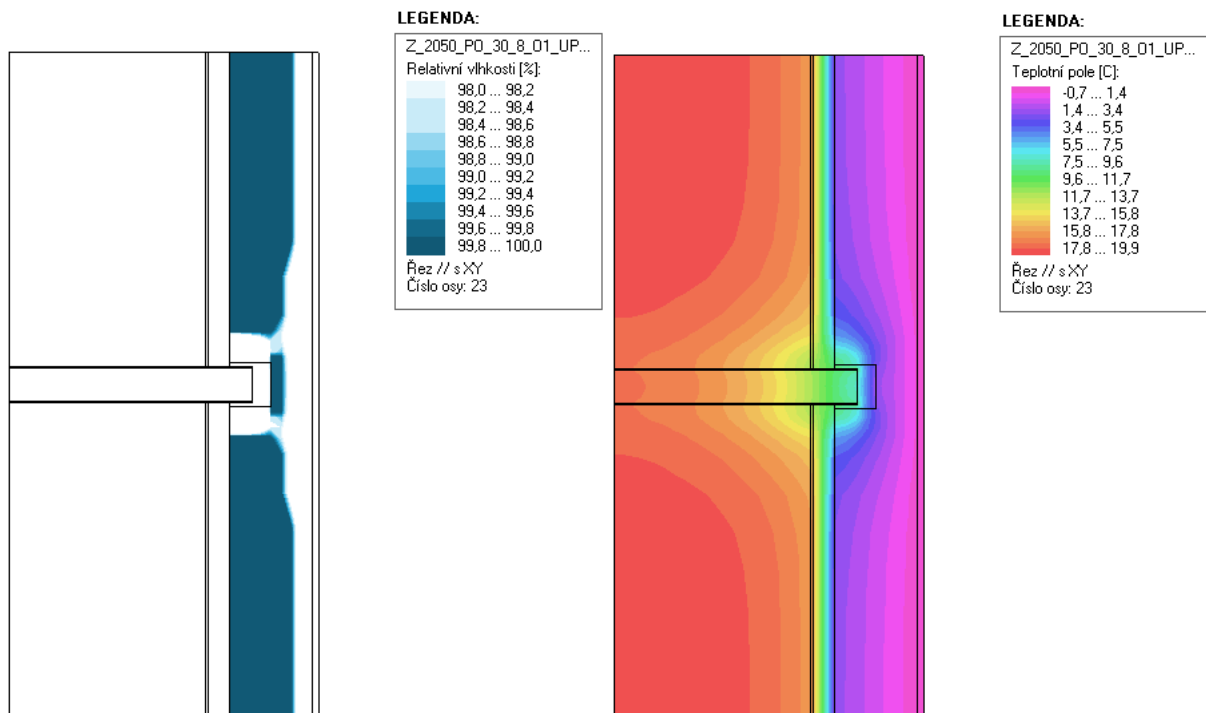
Výsledky

Výpočtem v programu Cube 3D 2017 byly pro tyto specifické varianty trojrozměrného stacionárního výpočtového modelu, s označením **z_2050_po_30_8_o1_upe** a **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky**, získány grafické výstupy zobrazující předpokládané oblasti kondenzace a grafické výstupy zobrazující pole teplot (viz. Obrázek 66 až Obrázek 69). Přičemž předpokládané oblasti kondenzace byly získány zobrazením

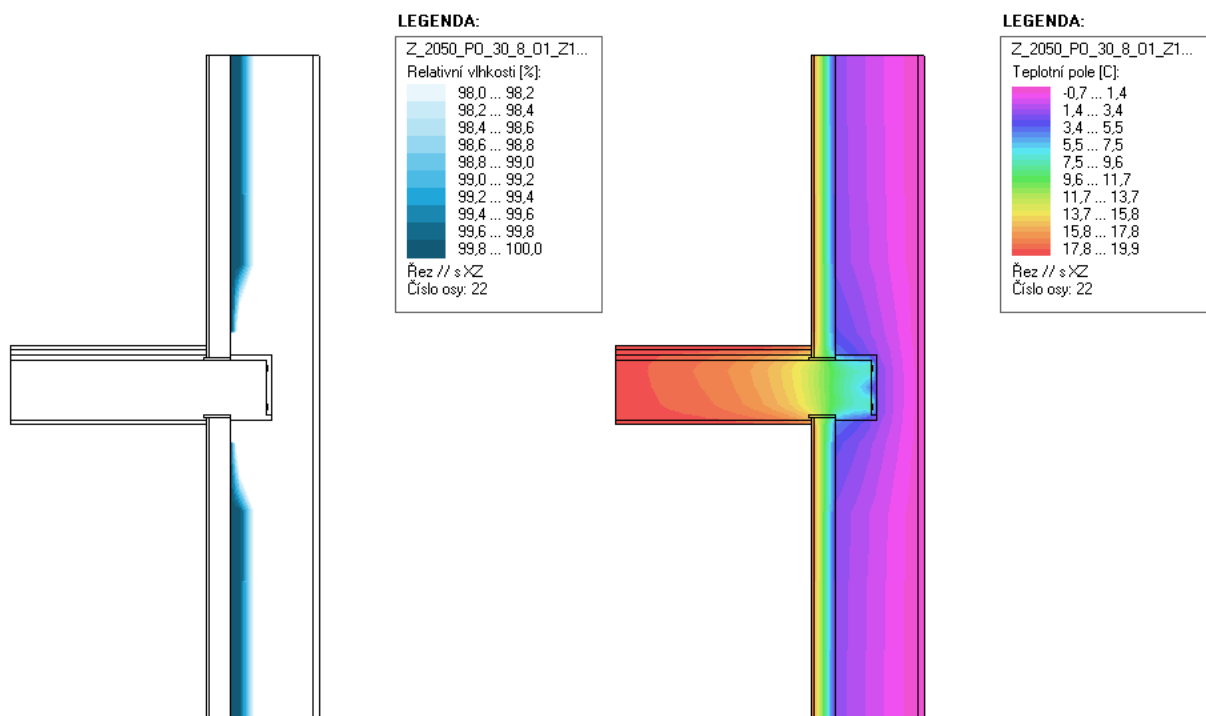
vybraných polí relativní vlhkosti v rozmezí hodnot RH 98 % až 100 %. Tyto výstupy jsou vždy zobrazeny ve formě dvou řezů ležících v rovinách xz a xy, přičemž u roviny xz se rovná o svislý řez a u roviny xy o vodorovný řez vedený prostorem trámové kapsy a přilehlými konstrukcemi.



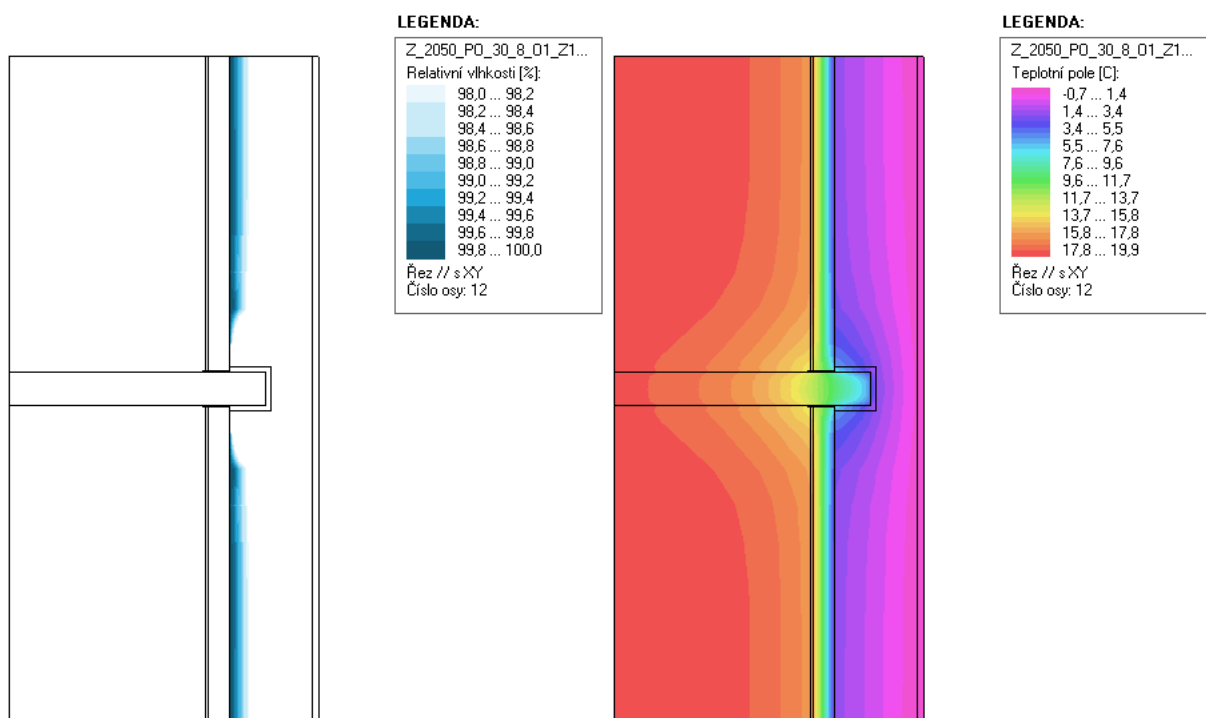
Obrázek 66 - z_2050_po_30_8_o1_upe – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



Obrázek 67 - z_2050_po_30_8_o1_upe – vodorovný řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C]
– zdroj [16b]



Obrázek 68 - z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b]



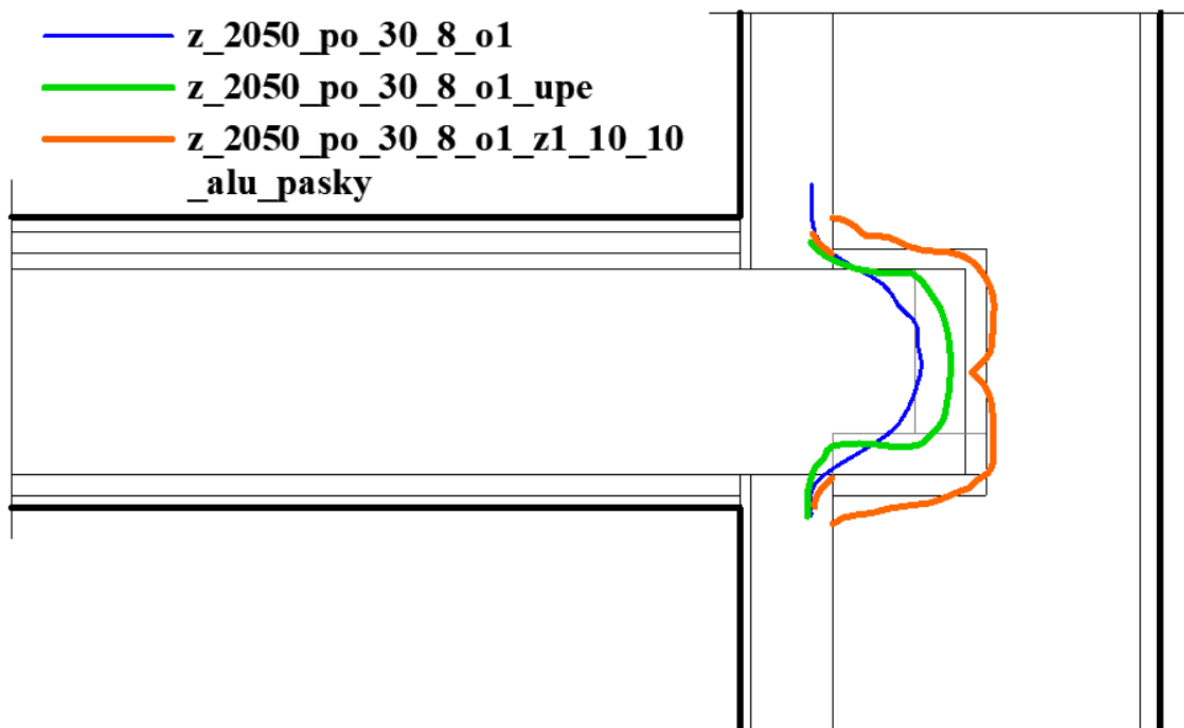
Obrázek 69 - z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky – vodor. řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b]

Na těchto řezech (viz. Obrázek 66 až Obrázek 69) si lze povšimnout několika specifických rozdílů, oproti dříve prezentovaným variantám. U obou těchto specifických úprav je na výše zobrazených řezech patrný jasný vliv přidávaných kovových prvků.

U varianty **z_2050_po_30_8_o1_upe** je jak ve vodorovném, tak svislém řezu patrné větší prohnutí prostoru trámové kapsy a jejího okolí. Z hlediska předpokládaných oblastí kondenzace, je nutno konstatovat, že sice došlo k zásadnímu odsunutí kondenzačních zón z prostoru trámové kapsy, avšak kondenzační zóny vyskytující se ve zdivu jsou zdaleka nejrozsáhlejší oproti všem ostatním prezentovaným variantám 3D modelu.

U varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky** je vliv zvoleného opatření na teplotu v prostoru trámové kapsy citelně menší než u předchozí varianty. Zvláště ve svislém řezu (viz. Obrázek 68) je však velmi dobře patrný lokální vliv opásání na charakteristiku teplotního pole. Můžeme si zde povšimnout dvou světle zelených až azurových výstupků, které opisují právě průmět těchto kovových prvků. Teplota v rovině trámového zhlaví je však viditelně nižší než v případě, kdy bylo použito ocelových profilů UPE 120.

Na základě grafických výstupů polí relativní vlhkosti z programu Cube 3D 2017 byl také sestaven srovnávací diagram zobrazující průběh izoliní relativní vlhkosti pro hodnotu $RH = 85\%$ (viz. Obrázek 70). Tento diagram v sobě kombinuje izolinie pro obě zkoumané specifické varianty a variantu referenční. Součástí tohoto diagramu je také legenda, která popisuje barevné odlišení izoliní pro jednotlivé, v něm porovnávané, varianty výpočtového 3D modelu. Tenkou čarou šedé barvy jsou naznačeny odlišné obrysy jednotlivých prvků pro var. **z_2050_po_30_8_o1_upe**.



Obrázek 70 - svislý řez - izolinie $RH = 85\%$ – zdroj [16b]

Z tohoto obrázku jsou patrné zásadní rozdíly v průběhu izolinií mezi jednotlivými zobrazenými variantami. Nejblíže interiéru (bráno v polovině výšky trámu) leží izolinie pro referenční variantu **z_2050_po_30_8_o1**, která je značena modrou barvou. Následuje, zeleně označená, izolinie pro var. **z_2050_po_30_8_o1_upe** a nejblíže směrem k exteriéru je pak izolinie pro var. **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky**.

Poslední zmíněná jako jediná přímo neprochází dřevěným trámem a můžeme u ní pozorovat charakteristický tvar, který je možno přirovnat k na bok položenému malému řeckému písmenu ω (omega), či písmenu w. Můžeme si rovněž povšimnout malých částí izolinie ležících v prostoru vnitřního zateplení před manžetou z parotěsnící pásky.

U varianty s příložkami z ocelových profilů UPE prochází izolinie část svého průběhu zhruba ve výšce 30 mm nad původní spodní hranou trámu, tato lokalita však u této varianty už leží v hmotě betonového podkladku. Část horního průběhu izolinie pak přibližně kopíruje horní hranu trámu.

Interpretace výsledků

Z přechozích obrázků jsou celkem dobře parné rozdíly ve vlivu obou technických řešení na průběh linií teplotního pole o charakteristiku oblastní kondenzace. Značné rozdíly jsou zřejmé také na průběhu izolií $RH = 85 \%$.

U var. **z_2050_po_30_8_o1_upe** se ve vodorovném řezu výrazně projevil vliv tepelné vodivosti masivních přidaných ocelových prvků a v pohledu barevného spektra teplotního pole zde vznikl poměrně velký žluto-zelený obrazec čtvercového tvaru, ve které by se měla teplota pohybovat mezi $+14$ a $+8$ °C. Tento obrazec sahá až do vzduchové mezery mezi zhlavím a zadní stěnou trémové kapsy. Podobný obrys můžeme v této oblasti pozorovat i na vedle umístěném vyobrazení oblastí kondenzace. Co je však u této varianty překvapivé, jsou masivní kondenzační zóny, které model předpokládá od rozhraní tepelné izolace a zdiva směrem ven. Je otázkou, zda zde nedošlo k nějaké chybě při zadávání modelu, vše bylo ovšem zkontrolováno a výpočet proveden znovu se stejnými výsledky.

U varianty **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky** je na všech výstupech, kromě kondenzačních zón, dobře patrný lokální vliv tepelné vodivosti hliníkových opratí.

Kondenzační zóny přibližně odpovídají var. **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10** popsané v podkapitole 3.3.2, což není žádným překvapením, neboť z ní varianta **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky** přímo vychází.

Lokální vliv hliníkových naohýbaných pásovin, jinak též zde označovaných jako hliníkové opratě, si lze ve srovnání s vlivem UPE profilů obecně vysvětlit menším průřezem materiálu použitého pro transport tepla do trémové kapsy. Hliník má sice lepší tepelnou vodivost než ocel, zde ovšem při konkrétních zvolených rozměrech, prostor trémové kapsy lépe „vyhřály“ právě profily UPE. Ve vodorovném řezu (viz. Obrázek 69) se projevil právě lokální vliv, neboť řez je umístěn přibližně v polovině výšky trému a je tedy relativně vzdálený od vlastního opásání pomocí hliníkových pásovin.

V čem se ovšem varianta s použitím hliníkových opratí projevila významně lépe, je vliv na polohu izolinií pro hodnotu $RH = 85 \%$, které se odsunuly výrazně dále směrem do interiéru než už varianty s UPE profily. Vzhledem k tomu, že tento ukazatel lze považovat za zásadní, a navíc k tomu, že u této varianty (**z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky**) model nepředpokládá kondenzaci v prostoru trémové kapsy, lze ji za určitých podmínek považovat za výhodnější.

3.4 Shrnutí výstupů 3D modelu

Použití trojrozměrného výpočetního modelu umožnilo zadat některé varianty, které nebylo možné u dvourozměrného správně nadefinovat. V tomto směru lze spatřovat velký přínos použitého softwaru Cube 3D 2017. Jako problematická se ovšem, při zvolené přesnosti, jeví velká časová náročnost výpočtu, která vedla k omezení počtu řešených variant.

Určitý přínos lze spatřovat například už jen v možnosti zadat variantu neprůběžným zateplením, za nejzajímavější lze ovšem označit velmi specifickou variantu **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky**, které lze z hlediska případné proveditelnosti považovat za jednodušší než řešení než použití masivních UPE profilů. Je však třeba dodat, že základním předpokladem je v tomto případě dostatečná zachoalost trémového zhlaví.

4 Závěr

Cílů práce, uvedených kapitole 1.2, bylo v přiměřené míře dosaženo.

V práci byla základní způsobem popsána problematika dřevěných trémových zhlaví, a to jak obecně, tak v souvislosti s provedením vnitřního zateplení. Trémové kapsy jsou velmi častým a zásadním konstrukčním detailem nezanedbatelného množství starších budov na území ČR. Jsou však problematickým místem samy o sobě, relativně citlivým na změny vnitřních okrajových podmínek v objektu. V řadě budov, ve kterých zatím nebylo prováděno žádné zateplení se lze setkat s porušenými zhlavími trémů v místech osazení takzvaných trémových kleští.

Při teoretickém zkoumání problematiky vnitřního zateplení bylo zjištěno, že, oproti běžně prováděným metodám, se jedná o relativně méně používanou alternativu. Tato zásadním způsobem mění průběh teplot v obvodovém zdivu a přináší jistá rizika. Za nejzásadnější z těchto rizik lze označit asi promrzání konstrukce v zimním období, které může, v kombinaci s případnou nadměrnou kondenzací uvnitř konstrukce, způsobit značné škody. S kondenzací a obecně změnou tepelně-vlhkostního režimu konstrukce, po jejím doplnění o vnitřní tepelnou izolaci, souvisí také zvýšené riziko růstu plísní, ke kterému může docházet právě přímo v trémových kapsách.

Jako součást diplomové práce byly vytvořeny dvourozměrné a trojrozměrné modely a na nich provedeny výpočty. K tomu bylo použito programu Area 2017 a Cube 3D 2017. Výstupy s těchto výpočtů jsou součástí praktické části této práce.

Výstupy zmíněných modelů byly pozadání specifických materiálových parametrů a okrajových podmínek porovnány s výstupy reálného měření, které proběhlo v UCEEB ČVUT v Praze. U dvourozměrného modelu, tedy zpracovaného v programu programu Area 2017 bylo při porovnání bodů v běžné skladbě stěny, zjištěno že rozdíly mezi zalepenou a nezalepenou variantu jsou minimální a tyto hodnoty přibližně odpovídají i hodnotám z reálného experimentu, a to jak u pole teplot, tak s lehce větší odchylkou i u pole relativních vlhkostí. U bodů v prostoru trémové kapsy z validace obecně hůře vyšly nezateplené stěny, nejhůře pak u varianty bez zalepení páskou, kde odchylky pro hodnoty RH přesáhly 10 %. Obecně lze konstatovat, že u trojrozměrného modelu vyšly odchylky menší. Za nejpřesnější lze poté označit variantu modelu **z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05**, tedy vnitřně zateplené se zalepenou trémovou kapsou. U této validační varianty činí odchylka hodnoty RH [%]

přibližně jen 0,6 % od srovnatelné reálné trémové kapsy. Tento fenomén byl pravděpodobně zapříčiněn rozdílnými v parametry vzduchových mezer v trémové kapse mezi reálným experimentem a výpočetním modelem. K tomu názoru přispívá i fakt, že právě zalepení vzduchové mezery přispělo ke zpřesnění výsledků výpočtu.

Následně byly oba výpočetní modely použity ke srovnání jejich různě upravených variant. Výstupy z 2D modelu lze považovat za spíše orientační, naznačující jisté tendence, neboť nezohledňují přesně některá specifika. Některá specifická řešení, jako jsou kovové prvky připevněné k trémům, či rozdíl mezi průběžným a neprůběžným zateplením, nemohla být ve 2D modelu vůbec řešena. I tak však bylo zjištěno několik zajímavých poznatků. Některé předpoklady se nepotvrdily a jiné varianty modelu naopak překvapily svými výsledky. Za nadějně lze označit především technické řešení, spočívající v zalepení trémové kapsy parotěsnicí páskou, ve variantě, kdy svislá část takto vytvořené manžety přiléhá pod tepelnou izolaci přímo k původnímu zdivu. Tyto varianty modelu byly s různou délkou přesahů označeny jako **z_2050_po_30_8_o1_z1_xx_xx**, jako nejefektivnější se z hlediska 2D modelu ukázala var. **z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25**, která má delší přesah pásky na zdivu.

Program Cube 3D 2017 sice umožnil, zadání trojrozměrného modelu, které je v mnoha ohledech věrnější reálnému stavu, avšak, z důvodu časové náročnosti výpočtu, došlo k omezení počtu zkoumaných variant 3D modelu.

Obecně lze říci, že jako nejslibnější se z hlediska této práce jeví taková preventivní opatření ke zlepšení podmínek v trémových kapsách, která zahrnují aplikaci parotěsnicí pásky ve formě manžety na trému ve styku s původním vnitřním lícem stěny. Tato varianta se jeví jako efektivnější a rovněž lze předpokládat, že bude z hlediska provádění jednodušší. Případná další opatření závisí v podstatě na stavu trémového zhlaví, tedy na případném požadavku na jeho nahrazení.

Seznam použité literatury a jiných zdrojů

- [1] EHRLICH, Pavel. *Vítejte na Zemi: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. CENIA, Česká informační agentura životního prostředí. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: http://www.vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=spotreba_energie_v_domacnostech&site=energie
- [2] ZILVAR, Jiří. *Obnovitelné zdroje v ČR v roce 2016*. Portál TZB-info [online]. Topinfo, 2017, 29.11.2017 [cit. 2019-11-08]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/16618-obnovitelne-zdroje-v-cr-v-roce-2016>
- [3] Český statistický úřad | ČSÚ [online]. [cit. 2019-11-09.]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20551777/17021614a02.pdf/341b9f96-0a79-4e5b-9b41-83a7116fb20f?version=1.0>
- [4] Průběh teplot zateplené a nezateplené konstrukce. Prozi projekt [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <http://www.prozi.cz/cs/43-rodinnedomy-prubeh-teplot-zateplene-a-nezateplene-konstrukce.html>
- [5] Informace a materiály poskytnuté v rámci konzultace s vedoucím práce Ing. Pavlem Kopeckým, Ph.D.
- [6] PFLUGER, Rainer. *Moisture transport processes in exterior building components with interior insulation: Passive House components + interior insulation*. Darmstadt: Passive House Institute - Research Group for Costeffective Passive Houses Phase III, 2005.
- [7] KÜNZEL, Hartwig, Andrea BINDER a Beate SCHAFACZEK. *Berücksichtigung der Wasserdampfkongvektion bei der Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen*. WKS. **55**(Květen 2010). ISSN 0341-0293.
- [8] HÁJEK, Petr. *Pozemní stavitelství II: pro 2. ročník SPŠ stavebních*. 3., přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86817-22-4.
- [9] DRAGON, Mirek. *Dřevěná trámová zhlaví v cihleném zdivu s vnitřní tepelnou izolací*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze - Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Pavel Kopecký, Ph.D.
- [10] Zvlhčovací systém Merlin: Diagram vztahu teploty, relativní vlhkosti a množství vody ve vzduchu. *Portál TZB-info* [online]. Topinfo s.r.o., 7.6.2006 [cit. 2020-01-02]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3345-zvlhcovaci-system-merlin>
- [11] ŠUBRT, Roman. Tepelně vlhkostní problematika zhlaví dřevěných trámů při zateplování. *Portál TZB-info* [online]. Topinfo, 18.12.2012 [cit. 2020-01-02]. ISSN 1801-

4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/3058-tepelne-vlhkostni-problematika-zhlavi-drevenych-tramu-pri-zateplovani>

[12] Opravy_historických_krovu19. In: *Tesařství Sláma a Vaněk* [online]. [cit. 2020-01-04].

Dostupné z: http://tesarstvi-slama-vanek.cz/wp-content/uploads/2013/02/Opravy_historických_krovu19.jpg

[13] JOHANSSON, Pernilla, Lukas LÅNG, Carl-Magnus CAPENER, et al. *RIBuild D2.2: Robust Internal Thermal Insulation of Historic Buildings*. AAU, DTU, KUL, RISE, UNIVPM, 2018.

[14] KILCAST, David a Persis SUBRAMANIAM. *The stability and shelf life of food: The stability and shelf-life of food*. Cambridge, England: Woodhead Pub., 2000. ISBN 978-1-85573-500-2.

[15a] Materiálová databáze programu Area 2017

[15b] Autorem zpracovaný model v programu Area 2017

[16a] Materiálová databáze programu Cube 3D 2017

[16b] Autorem zpracovaný model v programu Cube 3D 2017

Přílohy

K této diplomové práci jsou v elektronické formě a na přiloženém CD přiloženy dvě složky souborů výpočetních programů. Jedná se o soubory různých formátů včetně obrázků s grafickými výstupy některých variant modelu.

Složka se soubory 2D výpočetního modelu je pojmenována „soubory_area.zip“.

Složka se soubory 3D výpočetního modelu je pojmenována „soubory_cube_3d.zip“.

Seznam těchto souborů odpovídá seznamům zpracovaných variant 2D a 3D modelu, které jsou uvedeny v této práci.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Průběh teplot různých variant zateplení - zdroj [4]	12
Obrázek 2 – srovnání koncentrací v.p. pro vnitřní (INT.) a venkovní vzduch (EXT.) v zimním období – zdroj [10].....	14
Obrázek 3 - průběh teplot ve zdivu s vnitřním zateplením - zdroj [4]	15
Obrázek 4 - schéma vnitřního zateplovacího systému s úzkou vzduchovou mezerou - zdroj [6]	16
Obrázek 5 - řez historickou stropní konstrukcí v místě trámové kapsy - zdroj [8]	17
Obrázek 6 - zakotvení dř. trámu do zdi pomocí trámových kleští - zdroj [8]	18
Obrázek 7 - fotografie opraveného stropního trámu v místě trámové kapsy se specifickým kotvením - zdroj [12].....	19
Obrázek 8 - srovnání předpokládaných kondenzačních zón - zdroj [16b]	20
Obrázek 9 - provádění vnitřního zateplení - zdroj [5]	21
Obrázek 10 (A1 – B4) – Varianty trámového stropu - zdroj [8]	22
Obrázek 11 - životní cyklus plísně – zdroj [13]	23
Obrázek 12 - Rozměrový náskres modelu [mm]	26
Obrázek 13 - vnitřní okrajové podmínky pro validaci – zdroj [5].....	33
Obrázek 14 - okrajové podmínky experimentu a výsledky měření [°C; %; g/m ³] – zdroj [5]	35
Obrázek 15 - z_vali_po_30_8_o1 - rozložení RH [%] – zdroj [15b]	35
Obrázek 16 - z_vali_po_30_8_o1 - rozložení teplot [°C] – zdroj [15b]	36
Obrázek 17 - z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05 - rozložení RH [%] – zdroj [15b]	36
Obrázek 18 - z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05 - rozložení teplot [°C] – zdroj [15b].....	37
Obrázek 19 – Var. z_2050_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	39
Obrázek 20 - Var. z_2360_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	39
Obrázek 21 – Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b]	40
Obrázek 22 – Var. z_2050_po_30_8_o1 (ref.) – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	42
Obrázek 23 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b] ...	42
Obrázek 24 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	43
Obrázek 25 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b].....	43
Obrázek 26 - Var. z_2050_po_30_8_o1 (ref.) – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	46
Obrázek 27 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b] ...	46

Obrázek 28 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_25_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b] ...	47
Obrázek 29 - Var. z_2050_po_30_8_o1_z1_10_25 – oblasti kondenzace – zdroj [15b] ...	47
Obrázek 30 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b].....	48
Obrázek 31 - Var. z_2050_po_30_8_o1 (ref.) – oblasti kondenzace – zdroj [15b].....	50
Obrázek 32 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]....	50
Obrázek 33 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_25_10 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]....	51
Obrázek 34 - Var. z_2050_po_30_8_o1_i1_10_25 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]....	51
Obrázek 35 - Průběh izolinií RH – zdroj [15b]	52
Obrázek 36 - Var. z_2050_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b].....	54
Obrázek 37 - Var. z_2050_be_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	55
Obrázek 38 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b].....	55
Obrázek 39 – Var. z_2050_po_30_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	57
Obrázek 40 – Var. z_2050_po_45_8_o1 – oblasti kondenzace – zdroj [15b]	57
Obrázek 41 - Průběh izolinií RH = 85 % – zdroj [15b].....	58
Obrázek 42 - náčrtek modelu - řez stropní konstrukcí ve směru pohledu na stěnu [mm]....	60
Obrázek 43 - náčrtek modelu - řez trémovou kapsou [mm]	61
Obrázek 44 - ukázka 3D modelu – zdroj [16b]	61
Obrázek 45 - vnitřní okrajové podmínky pro validaci – zdroj [5].....	68
Obrázek 46 - z_vali_po_30_0_o1 - pole RH a teplot[% , °C] – zdroj [16b].....	70
Obrázek 47 - z_vali_po_30_0_o1_z1_05_05 - pole RH a teplot[% , °C] – zdroj [16b].....	70
Obrázek 48 - z_vali_po_30_8_o1 – pole RH a teplot[% , °C] – zdroj [16b].....	71
Obrázek 49 - z_vali_po_30_8_o1_z1_05_05 - pole RH a teplot [% , °C] – zdroj [16b].....	71
Obrázek 50 - okrajové podmínky experimentu a výsledky měření [°C; %; g/m ³] – zdroj [5]	72
.....	72
Obrázek 51 – 3D model var. z_2050_po_30_8x_o1 – zdroj [16b].....	73
Obrázek 52 – z_2050_po_30_8_o1 – svislý řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	74
Obrázek 53 - z_2050_po_30_8_o1 – vodorovný řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	75
Obrázek 54 – z_2050_po_30_8x_o1 – svislý řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	75
Obrázek 55 - z_2050_po_30_8x_o1 – vodorovný řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	76

Obrázek 56 - z_2050_po_30_0_o1 (ref.) – svislý řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	76
Obrázek 57 -z_2050_po_30_0_o1 (ref.) – vodorovný řez - předpokl. oblasti kondenzace a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	77
Obrázek 58 – svislý řez - izolinie RH = 85 % – zdroj [16b].....	78
Obrázek 59 – z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	80
Obrázek 60 – z_2050_po_30_8_o1_i1_10_10 – vodorov. řez – předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	81
Obrázek 61 – z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	81
Obrázek 62 – z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10 – vodorov. řez – předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	82
Obrázek 63 – svislý řez - izolinie RH = 85 % – zdroj [16b].....	83
Obrázek 64 - 3D model části trámu s příložkami UPE 120 – zdroj [16b]	85
Obrázek 65 - 3D model části trámu s opásaným zhlavím – zdroj [16b]	86
Obrázek 66 - z_2050_po_30_8_o1_upe – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b]	87
Obrázek 67 - z_2050_po_30_8_o1_upe – vodorovný řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	87
Obrázek 68 - z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky – svislý řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	88
Obrázek 69 - z_2050_po_30_8_o1_z1_10_10_alu_pasky – vodor. řez - předp. oblasti kond. a pole teplot [%; °C] – zdroj [16b].....	88
Obrázek 70 - svislý řez - izolinie RH = 85 % – zdroj [16b].....	89

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Materiálové charakteristiky modelu – zdroj [15a]	27
Tabulka 2 - vnitřní okrajové podmínky	27
Tabulka 3 - vnější okrajové podmínky	28
Tabulka 4 - vytvořené a řešené varianty 2D modelu.....	31
Tabulka 5 - Materiálové charakteristiky validačních variant modelu – zdroj [15a]	32
Tabulka 6 - vnější okrajové podmínky – validační	34
Tabulka 7 - Materiálové charakteristiky modelu – zdroj [16a]	63
Tabulka 8 - vnitřní okrajové podmínky	63
Tabulka 9 - vnější okrajové podmínky	64
Tabulka 10 - vytvořené a řešené varianty 3D modelu.....	66
Tabulka 11 - Materiálové charakteristiky validačních variant modelu – zdroj [16a]	67
Tabulka 12 - vnější okrajové podmínky – validační	69