



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Vnitřní zateplení uliční fasády historického bytového domu

Internal insulation of street facade of historical block of flat

Diplomová práce

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D

Bc. Martin Rohlíček

Praha 2016/2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Rohlíček	Jméno:	Martin	Osobní číslo:	396662
Zadávací katedra:	k124- Katedra konstrukcí pozemních staveb				
Studijní program:	Budovy a prostředí				
Studijní obor:	Budovy a prostředí				

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Vnitřní zateplení uliční fasády historického bytového domu		
Název diplomové práce anglicky:	Internal insulation of street facade of historical block of flats		
Pokyny pro vypracování:	<p>Popis bytového domu z počátku 20. století. Rešerše materiálů a systému využívaných k vnitřnímu zateplení budov. Modelování kritických detailů z pohledu vnitřního zateplení historických budov. Návrh zateplení a posouzení jednotlivých detailů.</p>		
Seznam doporučené literatury:	<p>Tesařství: Tradice z pohledu dneška, 100 osvědčených stavebních detailů- zednictví, Stavba domu v praxi I, II</p>		
Jméno vedoucího diplomové práce:	Ing. Kamil Staněk, Ph.D.		
Datum zadání diplomové práce:	3.10.2016	Termín odevzdání diplomové práce:	8.1.2017
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 nutně 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“.

<u>3. 10. 2016.</u>	_____	Podpis studenta(ky)	_____
Datum převzetí zadání			

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury. Dále prohlašuji že odevzdaná elektronická verze se shoduje s tištěnou verzí.

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 (autorský zákon).

Dále prohlašuji že odevzdaná elektronická verze se shoduje s tištěnou verzí.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Kamilu Staňkovi, Ph.D za podnětné rady a připomínky. Mé poděkování patří také Ing. Janu Mukařovskému, Ph.D. za cenné konzultace týkající se technického stavu posuzované budovy.

Tato práce vznikla s podporou projektu Univerzitního centra energeticky efektivních budov (OP VaVpI č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091).

Anotace

Předkládaná práce se věnuje využití vnitřního zateplení na historické budově z počátku 20. stol.

Práce je rozdělena na několik částí. V začátku práce jsou popsány rizika spojená s vnitřním zateplením a některé materiály a systémy používané na vnitřní zateplení. V další části je popsán objekt bytového domu na náměstí Jiřího z Poděbrad v Praze a posouzen stávající stav plošných konstrukcí. Další část se zabývá rizikovými místy budovy z pohledu vnitřního zateplení a výsledky jsou vyhodnoceny pomocí 3D modelů. Dále je navrženo vnitřní zateplení tohoto objektu ve dvou variantách a posouzen vliv zateplení na tepelnou úsporu a vlhkostní chování ve srovnání s původním stavem.

Hlavní cílem práce je zjistit využitelnost vnitřního zateplení na historických bytových domech, u kterých není vzhledem k nutnosti zachování původního vzhledu umožněno zateplení z exteriéru.

Klíčová slova

vnitřní zateplení, historická budova, bytový dům, tepelná úspora, vlhkost konstrukce

Annotation

Submitted diploma thesis is focused on the internal insulation of the historical building from the beginning of 20th century.

The thesis is divided to several parts. First part deals with the risks which are connected with the internal insulation of buildings. In this part are also described some materials and systems used for internal insulation.

Next part is focused on the description of the block of flat which is built on the Jiřího z Poděbrad square in Prague. This chapter also included the assessment of current condition of areal structure and hazardous places of chosen building. Results of this assessment was evaluate by using 3D models.

In the final part are designed two variations of internal insulation. There are also assessed influences of internal insulation to heat savings and impacts on the humidity in the structure.

Main purpose of submitted diploma thesis is to determine usability of the internal insulation in historical block of flats. It is not possible to realize external insulation in these cases, because it is necessary to preserve their original looks.

Keywords

internal insulation, historical building, block of flat, heat savings, humidity of structure

Obsah

1. Úvod	9
2. Vnitřní zateplení	10
2.1 Rizika vnitřního zateplení	10
2.1.1 Průběh teplot v konstrukci	10
2.1.2 Teplotní dilatační pohyby	11
2.1.3 Tepelné mosty	11
2.1.4 Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce	12
2.1.5 Tepelná akumulace	13
2.1.6 Finanční náklady	14
2.2 Materiály a systémy	15
2.2.1 Minerální desky Redstone Pura	15
2.2.2 Clima plus	17
2.2.3 Rigitherm	18
2.2.4 Aerogel Spaceloft	20
2.2.5 Klimatizační deska Calsitherm	21
3. Popis objektu	23
3.1 Popis objektu bytového domu na Náměstí Jiřího z Poděbrad	23
3.1.1 Svislá nosná konstrukce	24
3.1.2 Vodorovná nosná konstrukce	24
3.1.3 Krov	24
3.1.4 Vertikální komunikace	25
3.1.5 Arkýře a balkóny	25
3.2 Měření vlhkosti	27
3.3 Měření termokamerou	30
4. Návrh vnitřního zateplení	33
4.1 Normové požadavky	33
4.1.1 Vnitřní povrchová teplota	33
4.1.2 Součinitel prostupu tepla	34
4.1.3 Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce	35

4.2	Materiálové charakteristiky a okrajové podmínky	36
4.3	Původní stav	40
4.3.1	Konstrukční řešení	40
4.3.2	Posouzení plošných konstrukcí stávajícího stavu.....	42
4.3.3	Posouzení stávajícího stavu ve 3D	49
4.4	Varianta I - Neprůběžné zateplení	67
4.4.1	Konstrukční řešení	67
4.4.2	Posouzení plošných konstrukcí neprůběžného zateplení.....	68
4.4.3	Posouzení neprůběžného zateplení ve 3D	77
4.5	Varianta II - Průběžné zateplení	91
4.5.1	Konstrukční řešení	91
4.5.2	Posouzení plošných konstrukcí	92
4.5.3	Posouzení průběžného zateplení ve 3D.....	93
4.6	Srovnání a vyhodnocení variant	106
4.6.1	Plošné konstrukce.....	106
4.6.2	3D detaily	107
5.	Závěr	113
	Seznam použité literatury a zdrojů	115
	Seznam obrázků	117
	Seznam tabulek.....	120
	Seznam grafů	121
	Seznam příloh	122

1. Úvod

Vzrůstající cena energií, snaha o ochranu životního prostředí a úsporu primárních zdrojů má za důsledek neustále se zpřísnující energetické požadavky na veřejné a soukromé budovy.

V případě budov s historickým charakterem nebo tvarově komplikovanou fasádou bez možnosti vnějšího zateplení může být zajištění těchto požadavků velmi náročné. Jako jedna z možností se nám nabízí varianta vnitřního zateplení, jež s sebou přináší některá rizika popsána v kapitole 2, která v případech špatného návrhu či provedení může naopak budově uškodit.

V druhé kapitole jsou také popsány některé materiály používané a specializované na vnitřní zateplení. Další kapitola této práce se věnuje popisu historického bytového domu na náměstí Jiřího z Poděbrad. Součástí popsání je i měření vlhkosti suterénního zdiva a pořízení snímků termokamerou. Navazující část práce se věnuje návrhu vnitřního zateplení, který je proveden ve dvou variantách. Pro posouzení účinnosti zateplení budou vymodelovány dva 3D detaily. Na těchto detailech bude posouzen stávající stav a porovnány varianty zateplení. Z 3D detailů chceme získat především informace o změnách povrchových teplot a tepelného pole uvnitř konstrukce, relativní vlhkosti na povrchu a v konstrukcích a v neposlední řadě snížení tepelné ztráty. 3D výpočty budou doplněny o vybrané 2D detaily a posouzení plošných konstrukcí před a po zateplení.

Hlavní cíle této práce jsou návrh vnitřního zateplení, posouzení jeho vlivu na vybraných 3D detail uliční fasády, určení vhodnosti zvolených materiálů a způsobu provedení.

2. Vnitřní zateplení

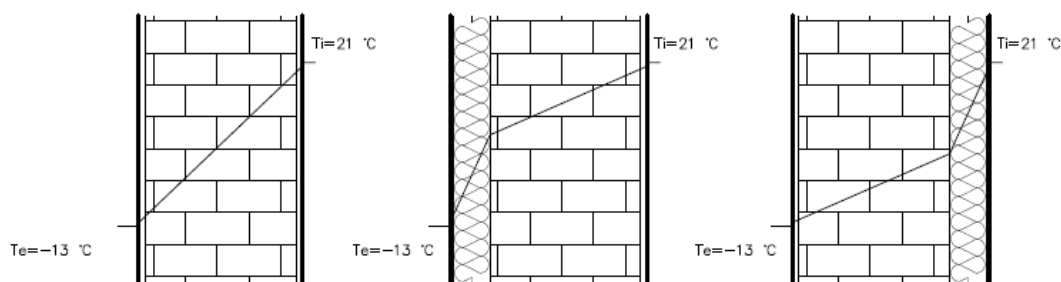
Z důvodů četných rizik spojených s použitím vnitřního zateplení by se mělo přistupovat k návrhu a provádění velmi důkladně a to především v místech komplikovanějších detailů, kde je nebezpečí vzniku tepelných mostů, jež by mohly zapříčinit poruchy v konstrukci. Nově vyvíjené materiály a systémy se snaží tyto rizika minimalizovat a zajistit tak vyšší životnost jak vnitřního zateplení, tak i celé stavby. V této kapitole budou blíže tyto rizika popsány a shrnuty některé používané materiály.

Vnitřního zateplení by se mělo využívat pouze v případech, že není možné provést vnější zateplení. Jedná se především o historické objekty, ve kterých není umožněno do historicky cenných fasád zasahovat.

2.1 Rizika vnitřního zateplení

2.1.1 Průběh teplot v konstrukci

Při vnějším i vnitřním zateplení se mění rozložení teplot uvnitř konstrukce oproti stavu před zateplením.



Obrázek 2.1-1: Rozložení teploty pro různé druhy zateplení

Při použití vnitřního zateplení se nízké teploty v zimním období posouvají směrem k vnitřní straně konstrukce. Ve srovnání s nezateplenou stěnou se nulová teplota přesouvá

ze středu konstrukce až k hranici původního líce a nového vnitřního zateplení. Toto přesunutí nízké teploty k vnitřnímu líci může mít za následek vznik tepelných mostů pomocí vodivých materiálů prostupujících vrstvou tepelné izolace. Díky tepelným mostům dochází ke snížení povrchové teploty pod rosný bod a následné kondenzaci vodních par na vnitřním povrchu konstrukce. Důsledkem vzniklé kondenzace může být vznik a rozvoj plísní a postupné porušování konstrukce.[1]

V případě použití vnějšího zateplení je situace přesně opačná. Zdivo je chráněno před teplotními výkyvy teplenou izolací, což má za následek to, že se konstrukce v létě nepřehřívá a v zimě neprochlazuje. Další důsledkem je přesunutí nízkých teplot k vnějšímu plášti a tím zvýšení povrchové teploty navazujících konstrukcí, jako jsou stropy, vnitřní stěny a příčky. [1]

2.1.2 Teplotní dilatační pohyby

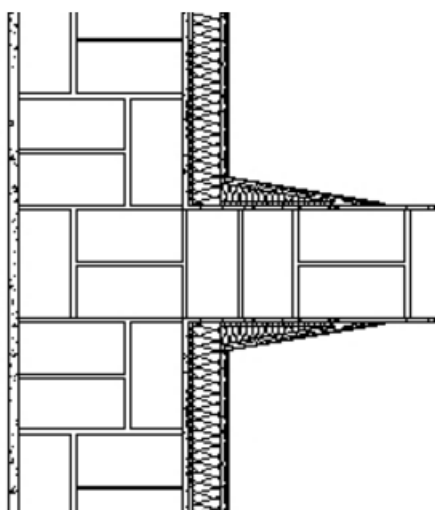
U každé změny teploty dochází k dilatačním pohybům v důsledku teplotní roztažnosti materiálů. Z předchozí kapitoly jasně vyplývá, že v případě použití vnitřního zateplení je původní konstrukce vystavena větším změnám teploty v průběhu roku. Vlivem kolísání teplot dochází k rozpínání a smršťování konstrukce, což má negativní vliv na funkčnost a trvanlivost nejen vlastní obvodové konstrukce, ale i na všechny navazující. [1]

2.1.3 Tepelné mosty

V nové izolační vrstvě vnitřního zateplení vzniká velké množství neodstranitelných tepelných mostů. Z tohoto důvodu téměř nelze dodržet zásadu celistvosti izolační obálky budovy. Jedná se především o navazující konstrukce jako jsou vnitřní stěny, stropy, příčky. Teplé mosty ovšem vytvářejí i veškeré konstrukce procházející vnitřní izolací, které slouží například k ukotvení topného systému a domácího vybavení do obvodové stěny. Další možností vzniků tepelných mostů je vedení instalačních rozvodů v měkčí vrstvě tepelné izolace. Oslabení tloušťky tepelné

izolace v těchto místech může vést ke snížení povrchové teploty a následné kondenzaci. Výskyt tepelných mostů nemá negativní vliv pouze na povrchovou teplotu, ale vede i ke zvýšení spotřeby energie na vytápění. [1]

Někteří výrobci izolací se snaží tepelné mosty vznikající návazností napojením vnitřních vodorovných a svislých konstrukcí minimalizovat systémovými deskami. Jedná se o desky sloužící k vytažení izolace přes vetknuté části konstrukce. V místech, kde už není teplená izolace zapotřebí se desky ukončují klínovitě nebo stupňovitě. [2]



Obrázek 2.1-2: Systémová desky proti vzniku tepelných mostů [2]

2.1.4 Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce

Během nejchladnějších měsíců v roce dochází ve většině stavebních konstrukcí k drobné kondenzaci vodní páry, které se v průběhu teplejších měsíců vypaří. U jednovrstvých konstrukcí se kondenzační zóna nachází u jejich středu. [1]

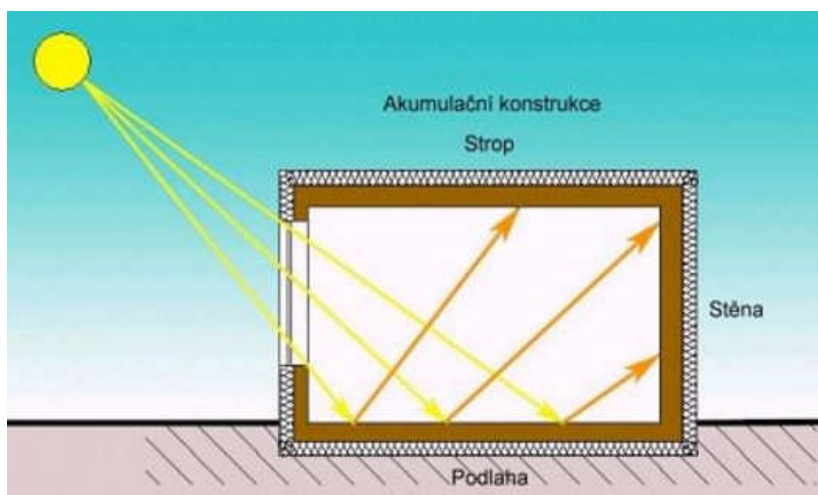
V případě použití vnitřního zateplení se kondenzační oblast posouvá k vnitřnímu povrchu, a to až na rozhraní původní konstrukce a nového zateplení. Zkondenzované množství se zvyšuje a zároveň se prodlužuje období, ve kterém může docházet ke kondenzaci vodní páry v konstrukci. Z toho vyplývá, že celkové množství zkondenzované vodní páry je výrazně vyšší, než v původním stavu bez zateplení. S větším obsahem nahromaděné zkondenzované vodní páry v konstrukci jsou i zvýšené

požadavky množství odpařitelné množství vodní páry během roku. V extrémních případech může zkondenzované množství překročit odpařené množství a zkondenzovaná vodní pára se začne v konstrukci hromadit. V tomto případě vlhkost v konstrukci každým rokem stoupne. [1]

2.1.5 Tepelná akumulace

Po použití vnitřního zateplení se výrazně snižuje možnost akumulace tepla v původním plášti. Tepelná izolace použitá na povrchu odcloní původní konstrukci s vyšší akumulací schopností. Toto má za následek rychlejší vychladnutí místnosti po přerušení dodávky tepla, na druhou stranu lze místnost rychleji vytopit, což se dá využít u částečně využívaných nebo rekreačních objektů. [1]

Podstatnou nevýhodou snížení akumulací schopností je menší možnost využití solárních zisků, které se nemohou naakumulovat do obvodové pláště. To má za následek prodloužení topného období a větší spotřebu energie na vytápění. Využitím akumulace v budovách lze dosáhnout až 15 % úspory tepla oproti budovám bez využití akumulace. [1]



Obrázek 2.1-3: Tepelná akumulace konstrukce v případě vnějšího zateplení [19]

Vliv snížené akumulace v letním období má za následek přehřívání vnitřního prostoru, což způsobuje tepelnou nepohodu a vede k zvýšení energetické a tím i finanční náročnosti budovy. [1]

2.1.6 Finanční náklady

Provozní i investiční náklady na vnitřní zateplení budou vyšší než v případě použití vnějšího zateplení. Důvodem je cena materiálů specializovaných na vnitřní zateplení a náklady potřebné na stavební úpravy uvnitř místnosti. Jedná se o práce potřebné k napojení svislé a vodorovné izolace, přesunutí všech konstrukcí uložených v obvodovém plášti jako jsou otopná tělesa, garnýže a mnoho dalších. Dalším finančním nákladem je zmenšení podlahové plochy místnosti. Výhodou vnitřního zateplení je možnost zateplování v menších etapách a tím pádem nižší nárok na objem financí. [1]

Při použití vnitřního zateplení nelze použít z důvodu zmenšení podlahové plochy stejné tloušťky izolantu jako v případě vnějšího zateplení. To má za následek spolu s menší akumulací schopností zvýšení provozních nákladů ve srovnání s variantou vnějšího zateplení.

2.2 Materiály a systémy

Tato část práce bude obsahovat výpis materiálů a systémů specializující na vnitřní zateplení.

2.2.1 Minerální desky Redstone Pura



Obrázek 2.2-1: Minerální deska Redstone Pura [3]

Jedná se o kapilárně aktivní, difuzně otevřené, nehydrofobizované desky na přírodní bázi s obsahem křemičitanu vápenatého a přísadkou jílu. Tento systém toleruje vznik vnitřní kondenzace. Jedná se o prodyšný a nasákový materiál, který je otevřen jak pro vodní páru, tak i pro kapalnou vodu. Vodní pára se vzduchem může pronikat do souvrství. Vzniklý kondenzát se v kapilárně aktivním materiálu rozprostře v ploše a tím se snižuje koncentrace kondenzátu v jednom bodě. Při poklesu vlhkosti v místnosti vynese souvrství vlhkost k vnitřnímu líci, kde se odpaří. Díky výměně vzduchu na povrchu je odpar rychlejší, než difuze uvnitř systému. [3]

Díky svým vlastnostem lze Pura desky využít bez použití parozábrany a tím předejít problémům s její životností a náchylností na porušení. Desky se celoplošně lepí k

podkladu s využitím difuzně otevřených lepidel a povrchových vrstev. Mezi další důležité vlastnosti tohoto materiálu je třída reakce na oheň A1 (nehořlavý materiál). Při styku s ohněm neuvolňuje nebezpečné plyny. [3]

Vlastnosti materiálu

Tabulka 2.2-1: Vlastností desek Redstone Pura

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost	max. 130	Kg/m ³
Třída reakce na oheň	A1 (nehořlavý materiál)	-
Součinitel tepelné vodivosti	0,042	W/m.K
Měrná tepelná kapacita	950 (+/- 50)	J/kg.K
Faktor difuzního odporu	5	-
Koeficient příjmu vody	13,9	Kg/m ² h ^{0,5}
Příjem vody	>10	Kg/m ²

2.2.2 Clima plus



Obrázek 2.2-2: Desky Clima plus [4]

Jedná se o další kapilárně aktivní materiál z křemičitanu vápenatého umožňující difuzi vodních par a kapilární vedení vody. Tento systém je schopný bez deformace absorbovat více než dvojnásobek vlastní hmotnosti vody, kterou při klesající relativní vlhkosti v okolní místnosti odevzdá zpět do vzduchu. [4]

Desky se dříve používaly v systému Redstone pro vnitřní zateplení. Poté, co tento výrobce uvedl na trh tepelně izolační desky Redstone Pura, které mají lepší izolační vlastnosti $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$ oproti Clima plus $\lambda = 0,07 \text{ W/mK}$ se tyto desky nevyužívají pro vnitřní zateplení. Nyní se spíše používají v případech, kdy je nutno zabránit vzniku plísní zvýšením povrchové teploty stěn. Desky se dále používají jako regulátor vlhkosti vzduchu v místnosti, zvukové izolaci a sanaci stěn nasáklých kondenzovanou vodou. [4]

Vlastnosti materiálu

Tabulka 2.2-2: Vlastnosti materiálu Clima plus

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost	360	Kg/m ³
Třída reakce na oheň	A1 (nehořlavý materiál)	-
Součinitel tepelné vodivosti	0,07	W/m.K
Pevnost v tlaku	1,6	N/mm ²
Faktor difuzního odporu	5	-
Koeficient příjmu vody	77,5	Kg/m ² h ^{0,5}
Hodnota nasycení vodou	83	obj. %

2.2.3 Rigitherm



Obrázek 2.2-3: Sendvičové desky Rigitherm [5]

Jedná se o systém pro vnitřní zateplení od firmy Rigips. Tento systém je tvořen sendvičovou deskou složenou ze sádkartonové desky (klasické nebo impregnované) tl. 12,5 mm spojené s tepelnou izolací z polystyrenu Rigifloor 4000 tl. 50mm - 400mm

o rozměru 2600 x 1200 mm. Systém splní požadavky normy ČSN 73 0540-2 na difuzi vodní páry až od tloušťky izolantu 120 mm a výše. Proto lze tento systém využít jedině v případech, kdy použité materiály budou schopny odolávat zvýšené vlhkosti a v zóně kondenzace nebudou umístěny rozvody nebo materiály, které by mohly být ohroženy zvýšenou vlhkostí. [5]

Při montáži se desky podkládají na přířez z polystyrénu a vytváří celkovou obálku místnosti. Po instalaci sendvičových desek se spoje přetmelí stejným způsobem jako při použití klasických sádkartonových konstrukcí. [5]

Isover EPS Rigifloor 4000

Isover EPS Rigifloor je speciálních typ elastifikovaných polystyrenových desek s minimální dynamickou tuhostí. Využívají se nejen do sendvičových panelů Rigitherm, ale i jako kročejová izolace podlah. [6]

Vlastnosti materiálu

Eps Rigifloor 4000

Tabulka 2.2-3: Vlastnosti polystyrénu Rigifloor 4000

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost	10-15	Kg/m ³
Třída reakce na oheň	E	-
Součinitel tepelné vodivosti	0,07	W/m.K
Dlouhodobá nasákavost při úplném ponoření	5	%
Faktor difuzního odporu	20-40	-

2.2.4 Aerogel Spaceloft



Obrázek 2.2-4: Areogel Spaceloft [7]

Aerogely jsou tvořeny křemičitými strukturami ve tvaru dutých koulí o velikosti několika nanometrů. Mají širokou distribuci pórů od 10^{-10} - 10^{-6} a jako jediná pevná látka pórovitost přesahující 95 %. Díky otevřeným pórům mohou plyny a kapaliny procházet materiálem s minimálním omezením. Areogel spaceloft je nanoporézní, flexibilní, hydrofobní materiál, který díky své extrémně malé tepelné vodivosti můžeme používat v malých tloušťkách. Využije se tam, kde díky nedostatku prostoru nelze dosáhnout požadovaných vlastností jiným způsobem. [7]

Aerogel je snadno stříhatelný a formovatelný materiál, který se lepí celoplošně pomocí lepidla ve spreji. Přilepené plochy je nutné kotvit také pomocí talířových hmoždinek. Spáry mezi jednotlivými deskami se vyplní PUR pěnou. [8]

Vlastnosti materiálu

Tabulka 2.2-4: Vlastnosti aerogelu Spaceloft

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost	150	Kg/m ³
Třída reakce na oheň	C	-
Součinitel tepelné vodivosti	0,015	W/m.K
Pevnost v tahu	200	kPa
Faktor difuzního odporu	5	-
Krátkodobá nasákavost při částečném ponoření	0,01	Kg/m ²

2.2.5 Klimatizační deska Calsitherm



Obrázek 2.2-5: Desky Calsitherm [9]

Desky Calsitherm jsou vytvořeny ze silikátu vápnicku. Krystaly silikátů vápnicku vytvářejí mikroporézní strukturu, která vzájemným propojením miliard otevřených pórů vytváří vysokou kapilaritu. Calsitherm je tepelně izolační, kapilárně aktivní, difusně otevřený, nehořlavý materiál bránící tvorbě plísní. Desky se dodávají s jedním obroušeným povrchem opatřeným základním nátěrem. [9]

Desky se lepí celoplošně na pevný navlhčený podklad pomocí lepidla KP. Na nalepené desky se podle požadavku použije vnitřní omítka Calsitherm KP nebo vápenná stěrka Calsitherm KP. Na povrch se nedoporučuje používat jakákoliv finální vrstva, která by výrazně omezila difuzi nebo kapilární účinek materiálu. [9] [10]

Vlastnosti materiálu

Tabulka 2.2-5: Vlastnosti desek Calsitherm

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost	220-240	Kg/m ³
Třída reakce na oheň	A1 (nehořlavý materiál)	-
Součinitel tepelné vodivosti	0,06	W/m.K
Faktor difuzního odporu	3-6	-
Referenční vlhkost při 80 % relativní vlhkosti vzduchu	0,007	m ³ /m ³
Koeficient příjmu vody	0,954	Kg/m ² s ^{0,5}
Obsah vlhkosti pro nasycení	0,913	m ³ /m ³

3. Popis objektu

3.1 Popis objektu bytového domu na Náměstí Jiřího z Poděbrad

Jedná se o zděný bytový dům ze začátku 20. století. Projekt byl zpracován v roce 1912. Objekt má pět nadzemních podlaží a jedno podzemní. Po rekonstrukci střechy jsou v podkroví umístěny byty.

V podzemním podlaží jsou umístěny technické místnosti a skladovací prostory. V prvním nadzemním podlaží směrem na náměstí jsou nebytové prostory, kde nyní sídlí obchod s lahůdkami. Směrem do vnitřního bloku jsou umístěny byty. Ve zbylých nadzemních patrech jsou umístěny vždy dva byty na jedno podlaží.



Obrázek 3.1-1: Uliční fasáda

3.1.1 Svislá nosná konstrukce

Svislá nosná konstrukce je tvořena podélnými zděnými stěnami z cihel plných pálených na vápenocementovou maltu. Nosné zdivo uličních a dvorních stěn je dle statických požadavků tehdejšího stavebního řádu na každém patře rozšířeno o 80 mm (1/4 cihly). V posledním patře má stěna minimální povolenou tloušťku 450 mm dodržující požadavek proti promrzání. Příčné zdivo sousedící s vedlejším objektem má tloušťku 300 mm. Vnitřní nosné stěny mají tloušťku 600 mm a ta je ve všech patrech stejná. [11]

3.1.2 Vodorovná nosná konstrukce

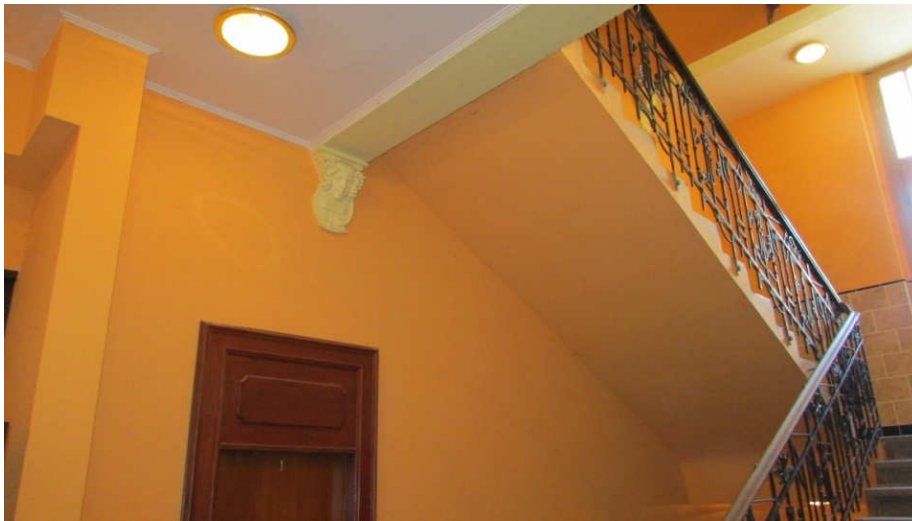
V objektu je použito několik druhů stropních konstrukcí. V suterénu je stropní konstrukce tvořena zděnou valenou klenbou. Ve vjezdu, chodbách a schodištích a dalších místnostech se zvýšenými požadavky na požární bezpečnost stropu jsou stropy tvořené železobetonovými dutinovými panely tloušťky 100 mm uloženými na zdech nebo do válcovaných I profilů. Nad komerčními prostory je použit železobetonový monolitický trámový strop s omítnutým podhledem. Stropní konstrukce v bytových prostorech je tvořena dřevěným trámovým stropem se stropnicemi 180 x 280 mm uloženými do kapes ve zdivu. Zásypem tloušťky 160 mm, podbitím s rákosovou omítkou. Z důvodu velkých rozpětí byly v objektu problémy s nadměrnými průhyby dřevěných stropů. V místech arkýřů jsou trámové stropy uloženy do válcovaných I profilů.

3.1.3 Krov

Původní použitá soustava krovu byla vaznicová stojatá stolice se středovou a vrcholovou vaznicí. Tato soustava byla upravena pro využití podkroví na bydlení. Z tohoto důvodu nebyl umožněn náhled na upravený krov.

3.1.4 Vertikální komunikace

Pro vertikální komunikaci slouží visuté schodiště uložené do schodišťových stěn a podestového trámu s žulovými stupni. K objektu byl přistaven výtah, který je umístěn do vnitrobloku.



Obrázek 3.1-2: Vysuté schodiště

3.1.5 Arkýře a balkóny

Fasáda směrem na náměstí je rozčleněna dvěma arkýři a balkónem.

Arkýře a balkóny v objektu mají lichoběžníkový tvar. Nosná konstrukce je vytvořena z válcovaných I profilů uložených do podélných nosných stěn. Válcované I profily jsou k sobě sešroubovány nebo svařeny a tvoří tak tuhý rám (viz. 4.3.1 - Konstrukční řešení). Obecně se při montáži konstrukcí u vnějšího okraje arkýře a balkónu zvýší asi o 20 - 30 mm nad vodorovnou hladinu. Toto nadvýšení se vyrovná pozdějším sednutím konstrukce. Nosná konstrukce je samostatná pro každé patro. V případě arkýře je umístěna nad okenním otvorem a plní tak zároveň funkci překlada. Podlaha arkýře nad vjezdem je tvořena dusanou betonovou deskou tloušťky 100 mm. V ostatních podlažích je trémový strop, kde se místo mohutné stropnice použije dvou menších trámů. Podlaha v balkónu

je také tvořená dusanou betonovou deskou tloušťky 100 mm, na které je provedena spadová vrstva ze škvárobetonu. O vodotěsnost balkonů se stará asfaltová dlažba vytažená 100 mm nad úroveň podlahy. [12] [13]

Pro vylehčení vykonzolovaného arkýře se na zdivo používaly dutinové cihly tloušťky 300 - 450 mm s použitím korkové izolace. V našem případě je použita zdivo tloušťky 450 mm bez použití izolace. Tloušťka zdiva je ve všech podlažích stejná. [12]



Obrázek 3.1-3: Arkýř a balkón

Viditelný vykonzolovaný trám na obrázku nemá statickou funkci. Je zde pouze jako dekorativní prvek. Z důvodu použití válcovaných profilů v obvodové konstrukce je zde velké riziko promrznání stěny a proto se na tento detail blíže zaměřím v další části mé práce.

3.2 Měření vlhkosti

Gravimetrická metoda

Gravimetrická metoda je jednou z nejpřesnějších a nejpoužívanějších metod na měření vlhkosti. Používá se také ke kalibraci ostatních měřících metod. Jedná se o destruktivní metodu založenou na porovnání hmotnosti odebraného vlhkého a následně vysušeného vzorku (např. kusové stavivo, omítka, malta). Výhodou této metody je to, že není nutné znát technické parametry zkoušeného vzorku. Problémem této metody je především destruktivní odběr vzorku, který si zejména v případě historicky cenných povrchů nemůžeme dovolit. [14]

Na povrchový odběr vzorků se používá sekáč a kladivo. V případě odběru vzorku z větší hloubky se využívá příklepová vrtačka. Při použití vrtačky se materiál zahřívá a dochází tak ke ztrátě vlhkosti, která může zapříčinit nepřesnost měření. Proto se při odebrání vzorku vrtáním přičítá vlhkostní přírážka (2-3 %). [14]

Klasifikace vlhkosti zdiva

Vypočet hmotnostní vlhkosti:

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} \times 100 [\%]$$

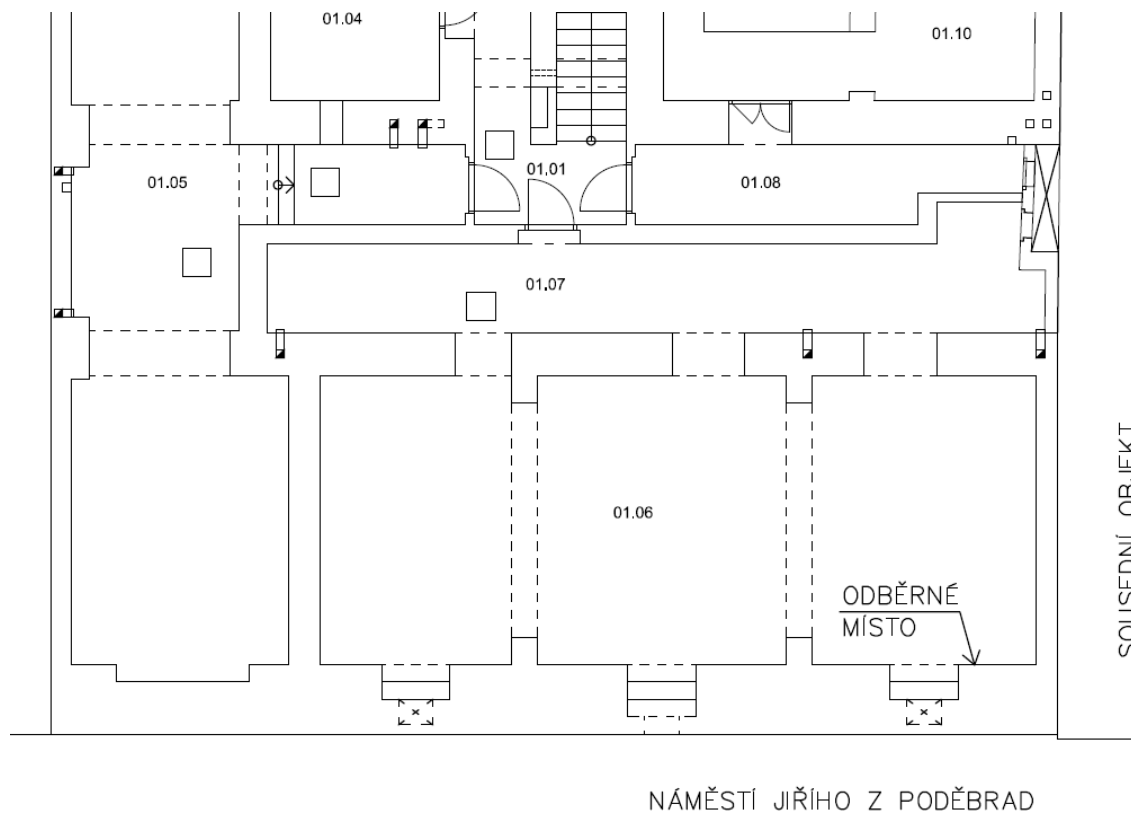
Klasifikace vlhkosti

Tabulka 3.2-1: Klasifikace vlhkosti zdiva

Vlhkost zdiva w [%]	Vlhkost
$w < 3$	velmi nízká
$3 \leq w < 5$	nízká
$5 \leq w < 7,5$	zvýšená
$7,5 \leq w < 10$	vysoká
$w > 10$	velmi vysoká

Popis místa odběru vzorků zdiva

Zjišťovala se vlhkost suterénní obvodové cihelné stěny z cihel CP zděných na vápenocementovou maltu tloušťky 1220 mm. Posuzovaný roh stěny je orientován na Náměstí Jiřího z Poděbrad a část stěny sousedí s vedlejším objektem. Měření proběhlo 24. 4. 2016. Celkem bylo odebráno 5 vzorků zdiva pomocí sekáče a kladiva. Odebrané vzorky byly uloženy do ochranných kelímků a zajištěny proti úniku vlhkosti. Při odebírání vzorků nebyly v suterénu nalezeny žádné zárodky plísní ani hub.



Obrázek 3.2-1: Schéma místa odběrů vzorků

Rozložení vzorků zdiva:

Vzorek č. 1: 20 cm nad úrovní podlahy (směr na náměstí)

Vzorek č. 2: vnitřní roh, 20 cm nad podlahou (směr na náměstí)

Vzorek č. 3: vnitřní roh, 20 cm nad podlahou (směr na náměstí a sousední objekt)

Vzorek č. 4: vnitřní roh, 50 cm nad podlahou (směr na náměstí)

Vzorek č. 5: vnitřní roh, 100 cm nad podlahou (směr na náměstí)



Obrázek 3.2-2: Odběrná místa vzorků

Vyhodnocení výsledků

Tabulka 3.2-2: Vyhodnocení vlhkosti zdiva

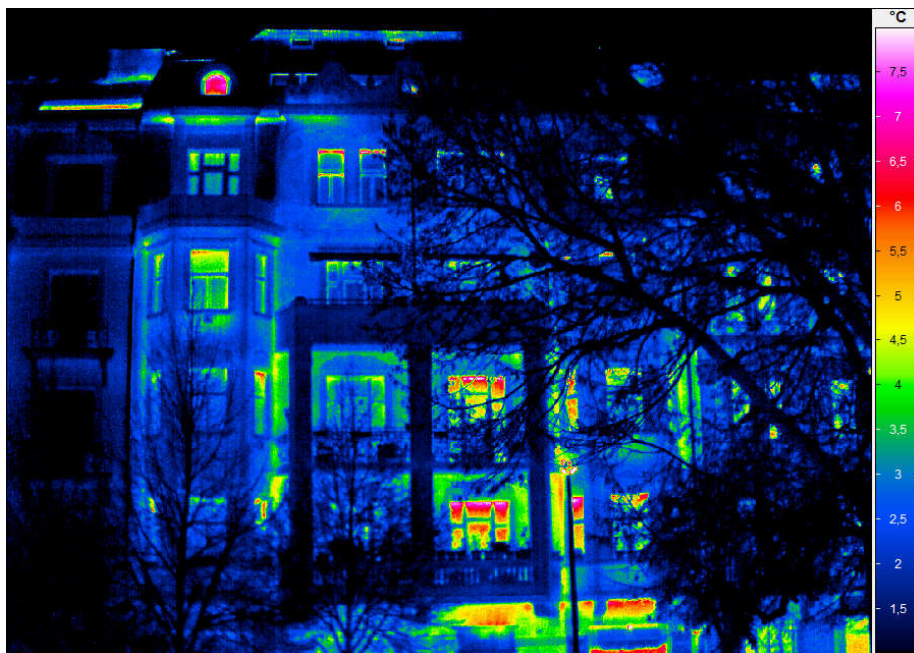
Č. vzorku	Vlhkost w [%]	Zatřídění
1.	5,90	Zvýšená
2.	4,82	Nízká
3.	0,67	Velmi nízká
4.	7,06	Zvýšená
5.	1,9	Velmi nízká

3.3 Měření termokamerou

Dne 15.12.2016 v 5:30 bylo provedeno snímkování uliční fasád domu na náměstí Jiřího z Poděbrad v Praze pomocí termokamery Inspect HD 880 od výrobce Infratec. V čas měření bylo oblačno s teplotou 2,3 °C. Před zahájením pořizování snímků se zjistila emisivita povrchu pomocí lepící pásky se známou emisivitou. Páska se nalepila na fasádu objektu a v nastavení termokamery se upravovala hodnota emisivity do té doby, než ústřížek lepící pásky nebyl rozeznám od podkladu. Emisivita původní omítky byla určena na $\varepsilon=0,95$ [-]



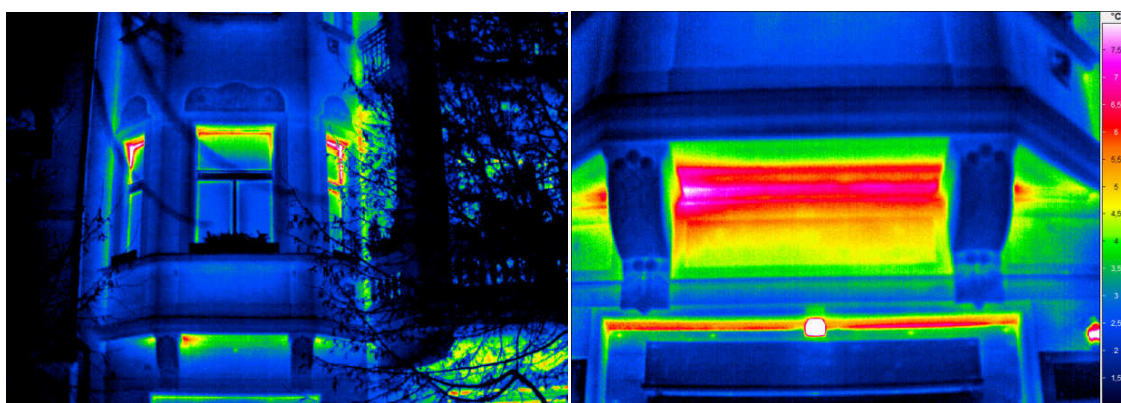
Obrázek 3.3-1: Uliční fasáda bytového domu na náměstí Jiřího z Poděbrad v Praze



Obrázek 3.3-2: Snímek uliční fasády



Obrázek 3.3-3

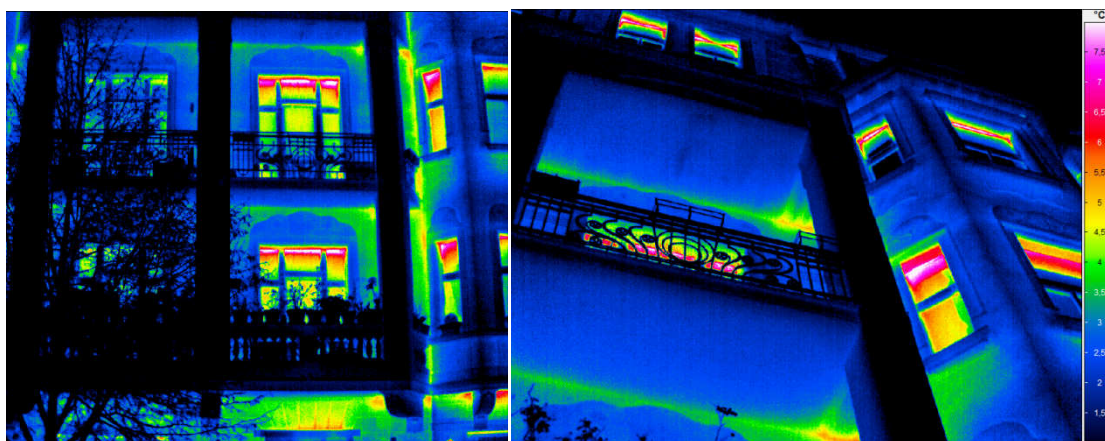


Obrázek 3.3-4: Snímek arkýře nad vjezdem s detailem v úrovni stropu

Na obrázku 3.3-4 je jasně patrný vznik lineárního tepelného mostu v místě napojení arkýře a balkónu. V tomto místě stoupne teplota na 3,4 °C. Další zajímavostí je propsání nosných válcovaných I profilů tvořící nosnou konstrukci arkýře.



Obrázek 3.3-5: Balkóny uliční fasády



Obrázek 3.3-6: Snímek balkónu s detailem nosné konstrukce

Na obrázku 3.3-6 je vidět snímek balkónu uliční fasády. Stejně jako na předchozím snímku je zde jasně vidět lineární tepelný most v místě napojení arkýře a balkónu. Na detailu je patrná nosná konstrukce z válcovaných profilů.

4. Návrh vnitřního zateplení

V této kapitole budou posouzeny plošné konstrukce a 3D modely stávajícího stavu objektu a dvou variant vnitřního zateplení. Porovnáním vypočtených výsledků zjistíme míru využití vnitřní tepelné izolace na příslušný objekt.

Uliční fasáda domu je rozčleněna konstrukcí arkýřů po stranách objektu a balkónem ve středové části. Tyto prvky jsou z pohledu zateplení kritická místa. Proto byl návrh zateplení soustředěn na tyto části objektu se snahou o zjištění řešení především u těchto míst.

4.1 Normové požadavky

4.1.1 Vnitřní povrchová teplota

Při návrhové relativní vlhkosti vzduchu $\varphi_i \leq 60 \%$ musí mít všechny konstrukce a styky v těchto prostorech takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby byla splněna podmínka pro teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N}$$

kde $f_{Rsi,N}$ je požadovaná nejnižší hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu, ze vztahu:

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr}$$

$f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu.

Podrobnější výpočet $f_{Rsi,cr}$ dle ČSN 73 0540-2. V našem případě pro vnitřní návrhovou relativní vlhkost $\varphi_i = 50 \%$, vnitřní návrhovou teplotu $\Theta_i = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ a venkovní návrhovou teplotu $\Theta_e = -13 \text{ }^\circ\text{C}$. Použijeme tabulkovou hodnotu $f_{Rsi,cr} = 0,753$ (-) pro stavební konstrukce a $f_{Rsi,cr} = 0,655$ (-) pro výplně otvorů. Splnění těchto požadavku je prevence proti povrchové kondenzaci a růstu plísní. [15] [16]

Pro stanovení kritického teplotního faktoru $f_{R_{si},cr}$ v prostorách s vnitřní návrhovou relativní vlhkostí vzduchu $\varphi_i = 50 \%$ lze využít tabulkové hodnoty jemu odpovídající povrchové teploty. V našem případě je teplota odpovídající $f_{R_{si},cr}$ pro stavební konstrukce $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro výplně otvorů $9,27 \text{ }^\circ\text{C}$. [15] [16]

Při výpočtu vnitřní povrchové teploty se použije odpor při prostupu tepla na vnitřní straně $R_{si} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ pro výplně otvorů a zvýšený $R_{si} = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ pro povrchy stavebních konstrukcí. [15]

4.1.2 Součinitel prostupu tepla

Hodnocení součinitele prostupu tepla probíhá dvěma způsoby. Hodnotí se průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} pro budovu jako celek a součinitel prostupu tepla U pro jednotlivé konstrukce. Pouze ve výjimečných případech nepožaduje norma splnění obou požadavků současně. [15]

V prostorách vytápěných budov s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60 \%$ musí součinitel prostupu tepla U ve $\text{W/m}^2\text{K}$ splňovat podmínku:

$$U \leq U_N$$

kde U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla ve $\text{W/m}^2\text{K}$

Pro stanovení hodnoty U_N použijeme tabulku dle normy ČSN 73 0540-2 pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou Θ_m v intervalu $18 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$ včetně a všechny návrhové venkovní teploty. [15]

V našem případě se jedná o vnější obvodovou stěnu s požadavkem $U_{N,20} = 0,3 \text{ Wm}^2\text{K}$. Výpočet součinitele prostupu tepla U podrobněji v normě ČSN 73 0540 - 4. [17]

4.1.3 Zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce

Ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce nesmí docházet v případech konstrukcí, u kterých by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c v $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$ mohla ohrozit její požadovanou funkci. Musí být tedy splněna podmínka :

$$M_c = 0$$

V našem případě předpokládáme, že kondenzace uvnitř konstrukce neohrožuje její funkci. A proto se budeme řídit podmínkou omezující roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce M_c v $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$, tak aby byl splněn požadavek:

$$M_c \leq M_{c,N}$$

kdy pro stavební konstrukce platí menší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a})$$

nebo 5 % plošné hmotnosti, je-li objemová hmotnost materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vyšší než $100 \text{ kg}/\text{m}^3$. V případě materiálu s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ použijeme 10 % jeho plošné hmotnosti. [15]

V konstrukcích s připuštěnou kondenzací vodní páry uvnitř konstrukce splňující předchozí požadavky nesmí v roční bilanci vypařování a kondenzace vodní páry zbýt v konstrukci žádné množství zkondenzované vodní páry, které by trvale zvyšovalo vlhkost uvnitř konstrukce. Musí být splněn požadavek, že zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce M_c v $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$ musí být nižší než roční vypařitelné množství vodní páry uvnitř konstrukce M_{ev} v $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$. [15]

V případech konstrukcí obsahující kapilárně aktivní materiál připouští norma hodnocení šíření vlhkosti pokročilejšími výpočetními metodami. V těchto případech neplatí požadavky jako pro konstrukce s připuštěnou kondenzací vodní páry. Musí být ale prokázáno, že v žádné vrstvě konstrukce nedochází k hromadění kondenzátu. A zároveň musí být prokázán a splněn požadavek, že zkondenzované množství vodní páry neohrozí funkčnost konstrukce. [15]

4.2 Materiálové charakteristiky a okrajové podmínky

Výpočet odporu plošné nevětrané konstrukce

Tepelný odpor plošné nevětrané vzduchové vrstvy (dutiny) tloušťky d v m se dle ČSN ISO 6946 stanoví ze vztahu

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (\text{xx})$$

h_a je součinitel přenosu vedením a prouděním ve vzduchové vrstvě ve $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

-pro vodorovný tepelný tok větší z hodnot 1,25 a 0,025/d

-pro tepelný tok vzhůru větší z hodnot 1,95 a 0,025/d

h_r je součinitel přestupu tepla sáláním mezi povrchy vzduchové vrstvy ve $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

$$h_r = 2,27 \cdot 10^{-7} \cdot T_m^3 \cdot E \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (\text{xx})$$

T_m střední teplota obou povrchů dutiny v K, $T_m = (\Theta_m + 273,15)$

E součinitel vzájemného osálení povrchů dutiny

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [-] \quad (\text{xx})$$

$\varepsilon_{1,2}$ jsou emisivity jednotlivých povrchů dutiny

ekvivalentní tepelnou vodivost dutiny zjistíme jako

$$\lambda g = \frac{d}{R_g} \quad [\text{W/mK}]$$

V našem případě vzduchové mezery v špaletovém okně tl. 130 mm platí

$$E = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1} = 0,82$$

součinitel prostupu sáláním pro odhad střední teploty povrchů 4 °C je $T_m = 277,15 \text{ K}$

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \cdot (18 + 277,15)^3 \cdot 0,82 = 3,96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

součinitel prostupu tepla vedením pro vodorovný tepelný tok a vzduchovou mezeru $d = 0,135 \text{ m}$ ($1,25 > 0,025/0,135 = 0,19$)

$$h_a = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

výsledný tepelný odpor je tedy

$$R_g = \frac{1}{1,25 + 3,96} = 0,192 \text{ m}^2\text{K/W}$$

výsledná ekvivalentní tepelná vodivost vzduchové mezery je tedy

$$\lambda g = \frac{0,13}{0,192} = 0,68 \text{ W/mK}$$

Pro ekvivalentní tepelnou vodivost vzduchové mezery tl. 20mm v místě uložení zhlaví trámu byla použita tabulková hodnota $\lambda g = 0,11 \text{ W/mK}$. [17]

Materiálové charakteristiky byli brány z databáze programu Teplo EDU 2014 a technický listů materiálu Spaceloft a Calsitherm. [8] [9] [10]

Tabulka 4.2-1: Materiálové charakteristiky

Materiál	Objemová hmotnost	Součinitel tepelné vodivosti	Měrná tepelná kapacita	Faktor difuzního odporu
	ρ [Kg/m ³]	λ [W/mK]	c[J/KgK]	μ [-]
Zdivo CPP	1800	0,8	900	8,5
Válcované profily	7850	50	870	100000
Stavební sklo	2600	0,76	840	1000000
Vzduchová mezera- trámové zhlaví tl. 20 mm	1,2	0,11	1010	0,1
Vzduchová mezera-okna tl. 130 mm	1,2	0,68	1010	0,1
Vzduchová mezera- mezi trámy tl. 280mm	1,2	1,765	1010	0,1
Škvárový zásyp	750	0,2	750	10
Beton	2200	1,3	1020	20
Škvárobeton	1500	0,74	830	6
Dutinové zdivo	800	0,58	960	7
Dřevěné prvky	400	0,18	2510	4,5
Nové rámy oken	400	0,12	2510	4,5
Stropní trámy	400	0,4;0,18;0,18	2510	4,5;157;157
Omítka	2000	0,99	790	19
Sousední objekt- stěna	1800	0,8	900	8,5
Sousední objekt- strop	356	0,43	500	8,5
Aerogel Spaceloft	150	0,015	800	5
Calsitherm	220	0,06	1000	4,5
Vnitřní omítka Kp	1350	0,57	785	10
Pěnové sklo	460	0,096	840	10

Okrajové podmínky 3D detailů

Tabulka 4.2-2: Okrajové podmínky 3D detailů

Okrajová podmínka	Značení	Hodnota	Jednotka
Venkovní návrhová teplota	Θ_e	-13	°C
Vnitřní návrhová teplota	Θ_i	21	°C
Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu- stěna	$h_{si,stěna}$	7,69	W/(m ² K)
Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu- podlaha	$h_{si,podlaha}$	5,88	W/(m ² K)
Součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu- strop	$h_{si,strop}$	10	W/(m ² K)
Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu	h_{se}	25	W/(m ² K)
Součinitel přestupu vodní páry na vnějším povrchu	β_e	0,0076	m/s
Součinitel přestupu vodní páry na vnitřním povrchu	β_i	0,0236	m/s
Vnitřní relativní vlhkost	φ_i	50	%
Vnější relativní vlhkost	φ_e	84	%

4.3 Původní stav

Pro zjištění stávajícího tepelně technického a vlhkostního stavu objektu byl použit výpočtový program Comsol Multiphysics. Ten byl doplněn o výpočty 1D vedení tepla v programu Teplo a 1D vedení vlhkosti v programu WUFI, potřebné k zjištění splnění normových požadavků. Dále byly provedeny také 2D výpočty v programu Area sloužící pro doplnění 3D detailů a srovnání výpočetních modelů.

4.3.1 Konstrukční řešení

Obvodové zdivo

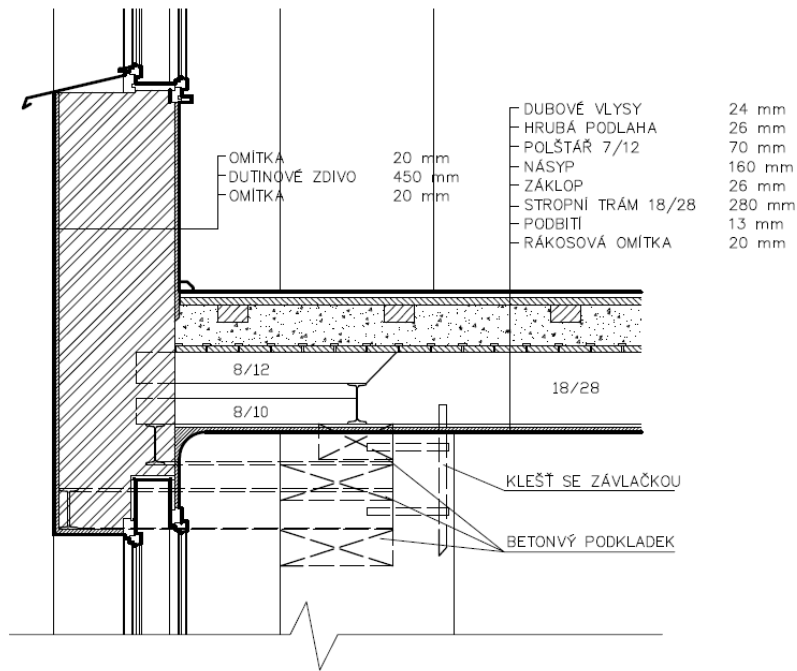
Obvodové zdivo je z CP na vápenocementovou maltu a omítkou tl. 20 mm . Tloušťka nosných zdí v každém patře ustupuje o 80 mm tedy o 1/2 cihly. Minimální tloušťka zdi je v posledním podlaží dle staveného řádu 450 mm.

Arkýře

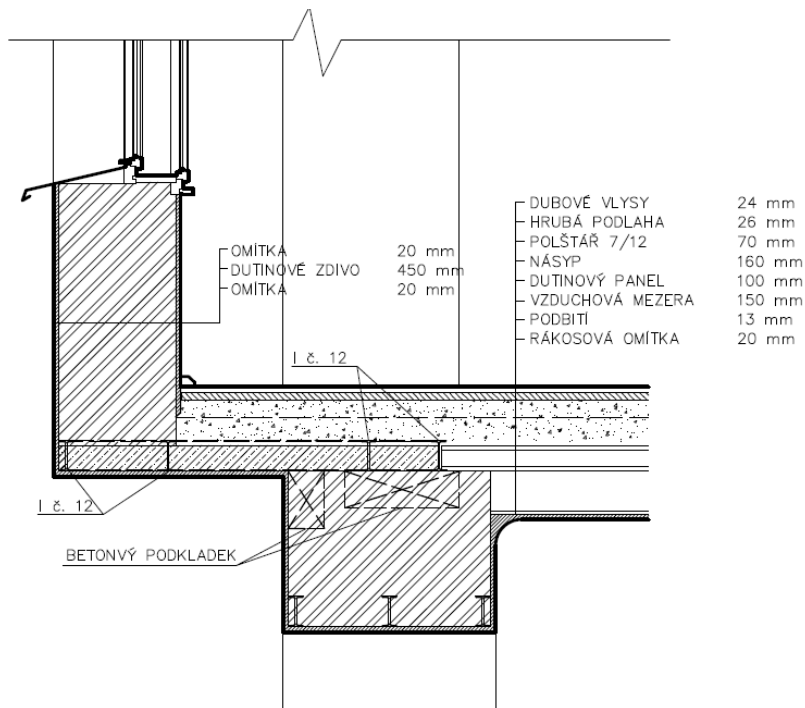
Po obvodu uliční fasády jsou umístěny arkýře vykonzolované o 0,865 m před průčelí fasádu.

Arkýře jsou z dutinových cihel tl. 450 mm s omítkou tl. 20 mm. Zdivo arkýřů je uloženo na lichoběžníkové konstrukci z válcovaných I profilů výšky 120 a 160 mm. Nosná konstrukce z válcovaných I profilů je navržena v každém patře zvlášť a uložena na betonových podkladcích v nosném obvodovém zdivu, které brání překročení únosnosti zdiva. [12]

Konstrukce podlahy arkýře v prvním nadzemním podlaží je tvořena dusaným betonem tl. 100 mm, na kterém je provedena klasická skladba podlahy viz. obrázek 4.3-2. Ostatní stropní konstrukce jsou provedeny pomocí dvou trámů o rozměrech 80x120mm a 80x100 pro vylehčení stropní konstrukce. Skladba podlahy je totožná jako v prvním nadzemním podlaží.



Obrázek 4.3-1: Detail arkýře běžného podlaží- Původní stav

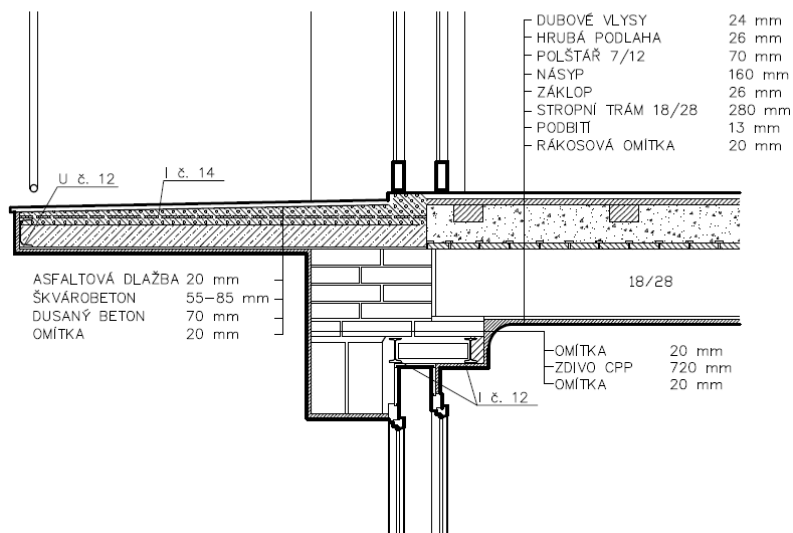


Obrázek 4.3-2: Detail arkýře nad vjezdem- Původní stav

Balkón

Balkóny jsou vykonzolovány o 1,22 m před průčelní fasádu. Nosná konstrukce balkónu je stejně jako u arkýřů tvořena z válcovaných I profilů, které jsou uloženy na betonových podkladcích v obvodovém nosném zdivu viz obrázek 4.3-3. Podlahu tvoří

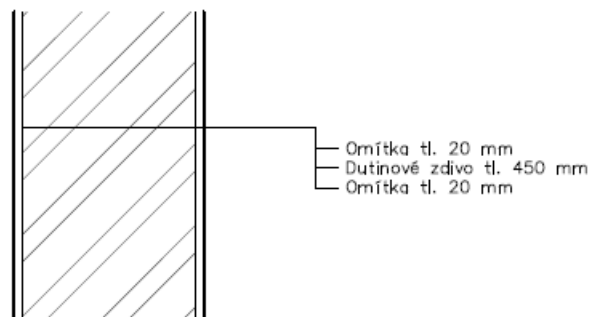
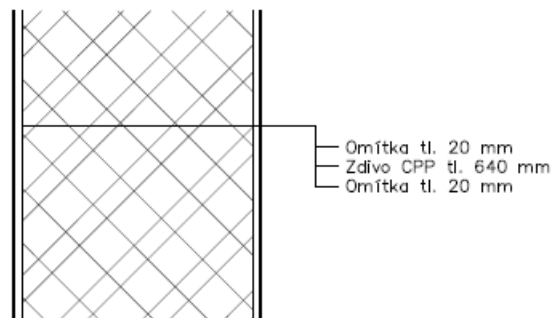
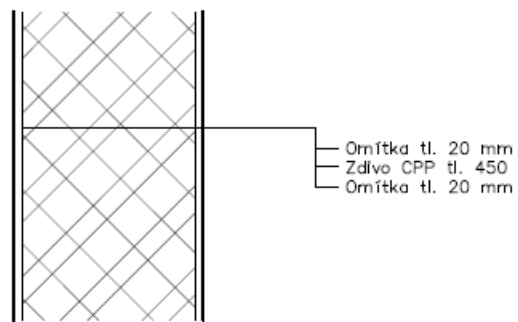
dusaný beton tl. 100 mm, na kterém je vytvořena spádová vrstva ze škvárobetonu. Vodotěsnou funkci balkónu plní asfaltová dlažba vytažená 100 mm na obvodové zdivo. [13]



Obrázek 4.3-3:Detail balkónu- Původní stav

4.3.2 Posouzení plošných konstrukcí stávajícího stavu

Pro posouzení původního stavu byla zvolena obvodová stěna z CPP tl. 640 mm zděná na vápenocementovou maltu s omítkou tl. 20 mm. Tato tloušťka stěny se vyskytuje ve třetím nadzemním podlaží, kde byl proveden v úrovni stropní konstrukce 3D model. Další posuzovaná stěna je z CPP tl. 450 mm, která je použita v posledním podlaží. Jedná se o nejslabší stěnu vyhovující tehdejšímu stavebnímu řádu. Jako poslední byla posuzována stěna arkýře, která je provedena z dutinových cihel tl. 450 mm a omítnuta omítkou tl. 20 mm. Stěna z dutinových cihel má ve všech podlažích stejnou tloušťku.



Obrázek 4.3-4: Skladby plošných konstrukcí

- Stacionární výpočet

Pro výpočet byly použity okrajové podmínky s vnější návrhovou teplotou $T_e = -13\text{ °C}$ a relativní vlhkostí vnějšího vzduchu $\varphi_e = 84\%$.

Jako okrajová podmínka v interiéru byla použita vnitřní teplota $T_i = 21\text{ °C}$ a vnitřní relativní vlhkost 50%.

Součinitel prostupu tepla na vnitřním povrchu byl použit $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ a na vnějším povrchu $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{W/K}$. V případě výpočtu poklesu povrchové teploty je použit součinitel prostupu na vnitřním povrchu $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Jak je patrné z tabulky č. 4.3-1, ze stávajících konstrukcí nesplňuje požadavky na povrchovou teplotu $T_{si,P}$ a teplotní faktor $f_{rsi,P}$ dle normy ČSN 730540-2 pouze stěna z CP tl. 450. Normový požadavek na součinitel prostupu tepla nesplní ani jedna s vybraných plošných konstrukcí.

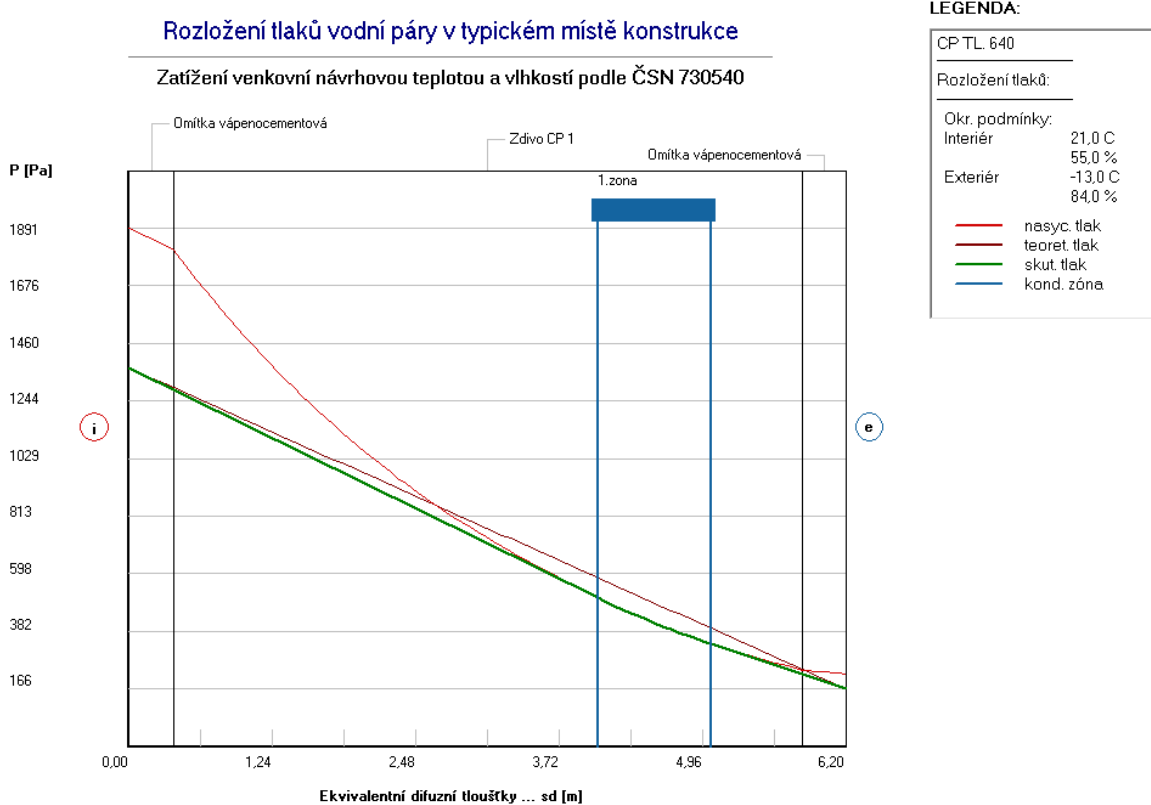
Tabulka 4.3-1: Posouzení plošných konstrukcí na šíření tepla

Konstrukce	Povrchová teplota			Teplotní faktor			Součinitel prostupu tepla		
	T _{si,P} [°C]			f _{rsi,P} [-]			U [W/m ² K]		
	Stávající	>	Pož.	Stávající	>	Pož.	Stávající	>	Pož.
CP tl. 640 mm	13,48	>	12,6	0,779	>	0,753	0,99	>	0,3
CP tl. 450 mm	11,48	<	12,6	0,72	<	0,753	1,294	>	0,3
Dutinové zdivo tl. 450mm	13,32	>	12,6	0,774	>	0,753	1,014	>	0,3

Během modelového roku dochází v posuzovaných konstrukcích ke kondenzaci vodní páry. Množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ musí splnit $M_{c,a} \leq M_{c,n}$, kde $M_{c,n}$ je menší z hodnot 0,5 Kg/(m²a) nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci. [15]

Tabulka 4.3-2: Posouzení plošný na kondenzaci vodní páry

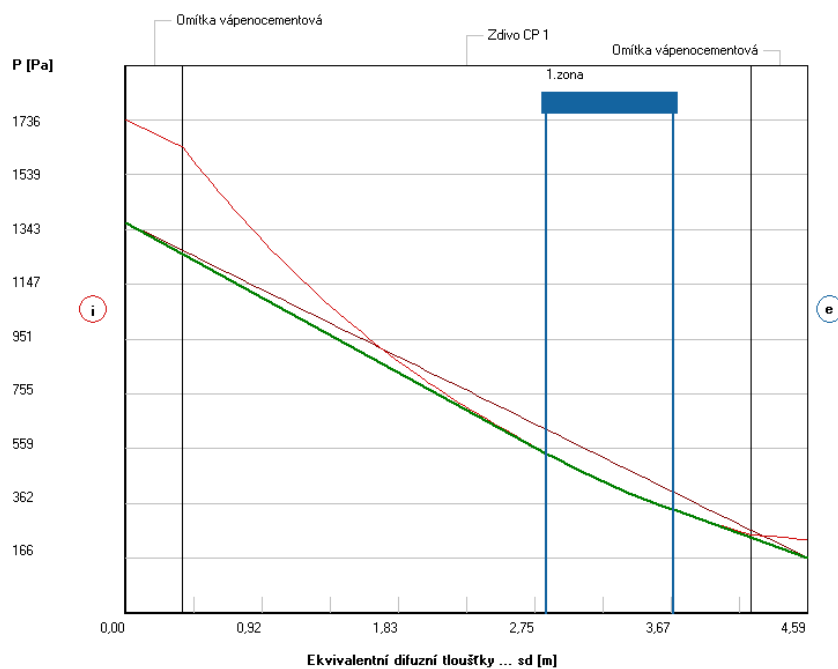
Konstrukce	Množství zkondenzované vodní páry	Povolené množství zkondenzované vodní páry
	$M_{c,a}$ [kg/m ² rok]	$M_{c,n}$ [kg/m ² rok]
CP tl. 640 mm	0,0115	0,5
CP tl. 450 mm	0,0184	0,5
Dutinové zdivo tl. 450mm	0,0319	0,5



Graf 4.3-1: Rozložení tlaků vodní páry u stěny z CPP tl. 640 mm

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



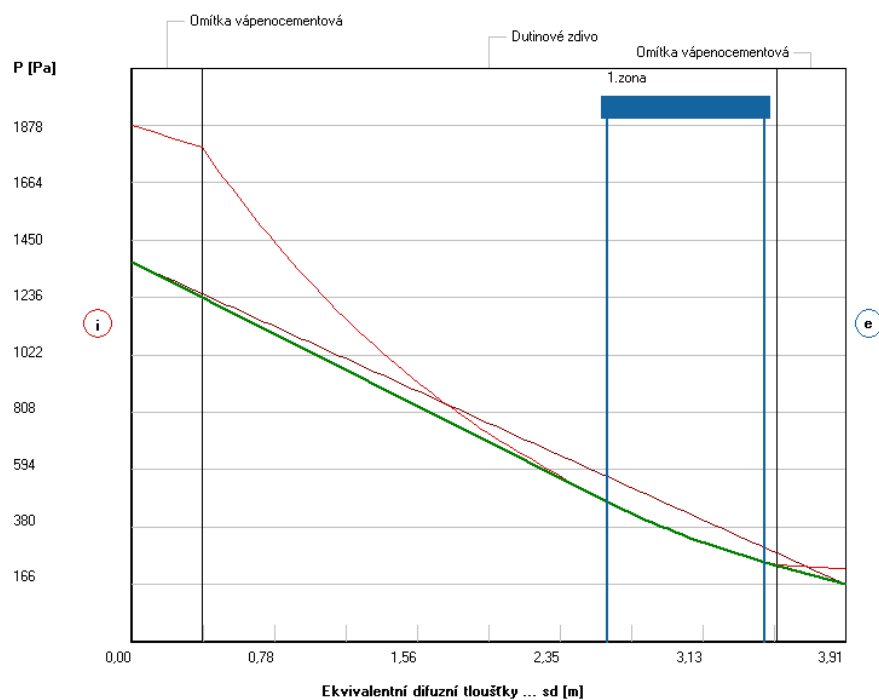
LEGENDA:

CP TL 450	
Rozložení tlaků:	
Okr. podmínky:	
Interiér	21,0 C
	55,0 %
Exteriér	-13,0 C
	84,0 %
—	nasyc. tlak
—	teoret. tlak
—	skut. tlak
—	kond. zóna

Graf 4.3-2: Rozložení tlaků vodní páry u stěny z CPP tl. 450 mm

Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540

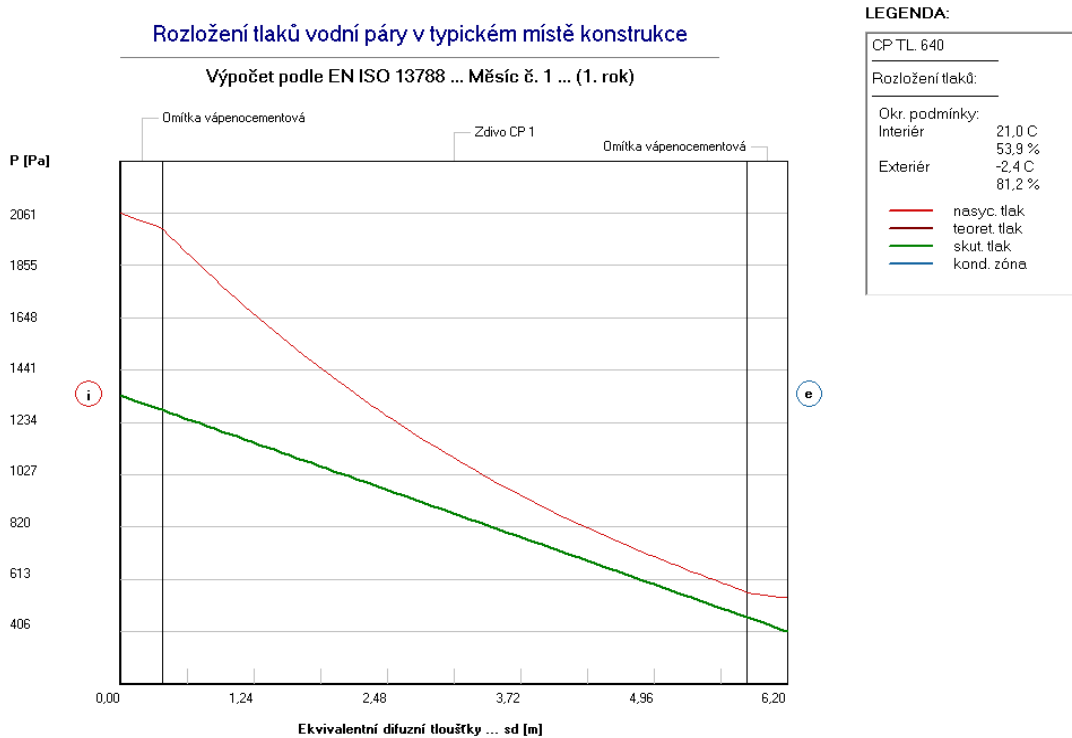


LEGENDA:

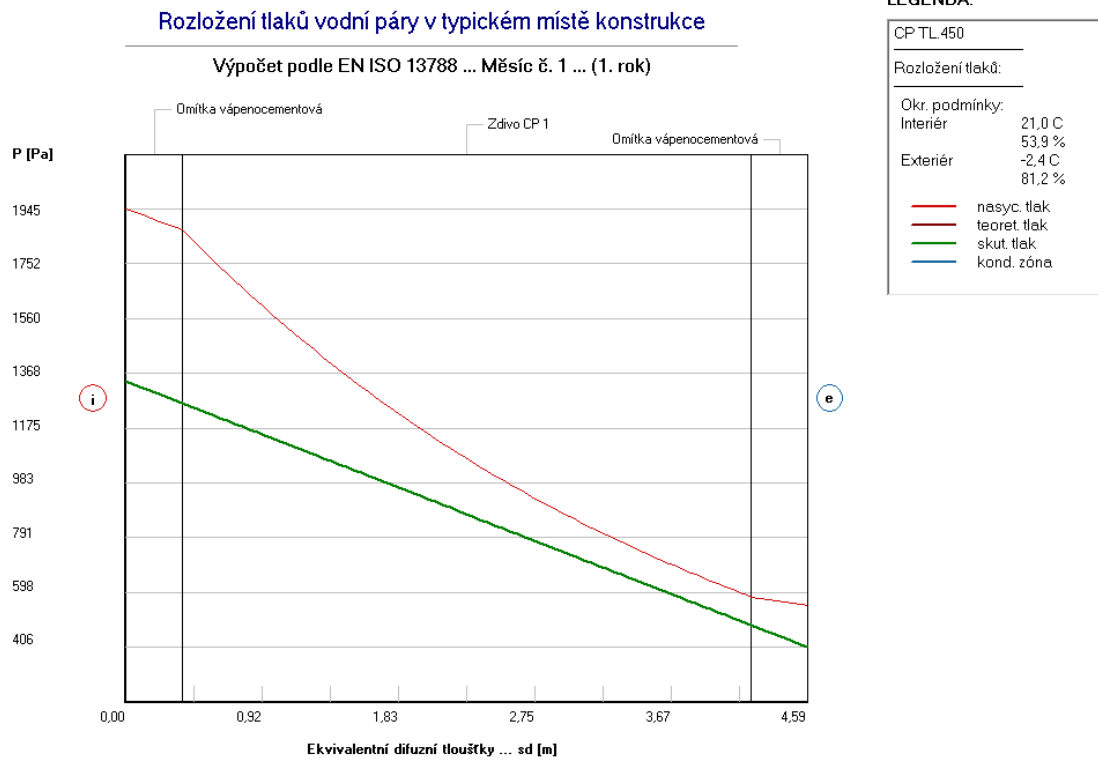
DUTINOVÉ ZDIVO TL...	
Rozložení tlaků:	
Okr. podmínky:	
Interiér	21,0 C
	55,0 %
Exteriér	-13,0 C
	84,0 %
—	nasyc. tlak
—	teoret. tlak
—	skut. tlak
—	kond. zóna

Graf 4.3-3: Rozložení tlaků vodní páry u stěny z dutinových cihel tl. 450 mm

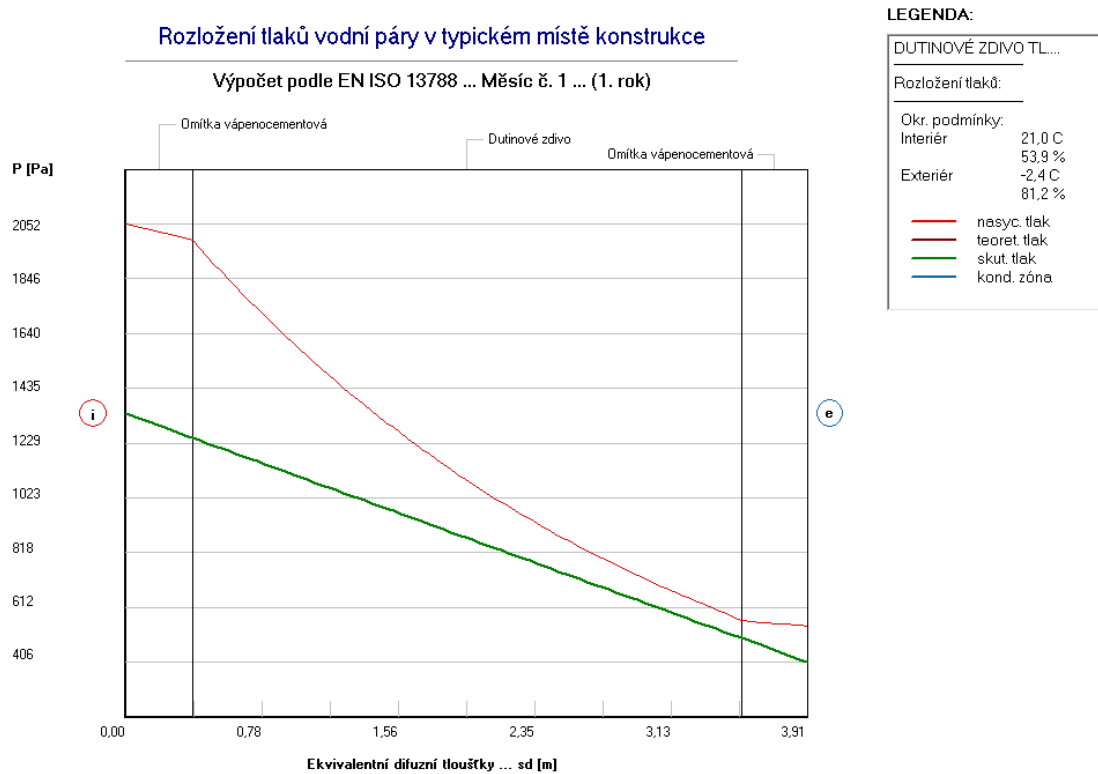
V posouzení je počítáno s venkovní návrhovou teplotou $\Theta_e = -13 \text{ }^\circ\text{C}$. Tato teplota však reálně nastane pouze v několika výjimečných případech během roku. Při dosažení průměrné lednové teploty $T_e = -2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $\phi_e = 81,2\%$ v konstrukci ke kondenzaci vodní páry nedochází. V grafech 4.3-3, 4.3-4 a 4.3-5 je vidět změna rozložení vodní páry pro návrhové průměrné lednové exteriérové podmínky.



Graf 4.3-4 Rozložení tlaků vodní páry u stěny z CCP tl. 640 mm a $\phi_e=81,2\%$ a $\Theta_e=-2,4 \text{ }^\circ\text{C}$



Graf 4.3-5: Rozložení tlaků vodní páry u stěny z CCP tl. 450 mm a $\varphi_e=81,2\%$ a $\Theta_e=-2,4\text{ }^\circ\text{C}$



Graf 4.3-6 Rozložení tlaků vodní páry u stěny z dutinových cihel tl. 640 mm a $\varphi_e=81,2\%$ a $\Theta_e=-2,4\text{ }^\circ\text{C}$

4.3.3 Posouzení stávajícího stavu ve 3D

V této části práce budou řešeny detaily 3D v programu COMSOL Multiphysics. Jedná se o detail arkýře nad vjezdovou bránou do vnitrobloku a detail arkýře a balkónu v úrovni stropu druhého nadzemního podlaží.

Geometrie detailů 3D detailů byla vytvořena v programu AutoCad a vychází z 2D detailů blíže popsanych v kapitole 4.3.1.

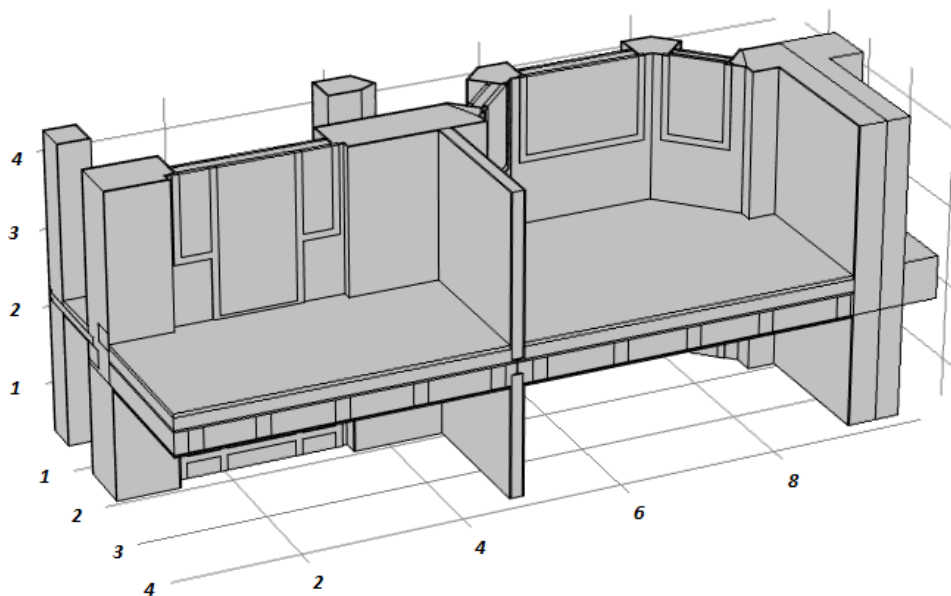
Z 3D detailů chceme získat podrobnější informace o povrchových teplotách, teplotním toku a vlhkostech uvnitř konstrukce a trámových zhlaví v návaznosti na přilehlé konstrukce. Jedná se především o části konstrukcí, které nepokryjí modely v 1D a 2D, jako je například napojení zděné příčky na odvodové zdivo, uložení nosných trámů a vliv konstrukcí z válcovaných I profilů.

Při určování kondenzace vodní páry má výpočetní program COMSOL Multiphysics omezenou hodnotu relativní vlhkosti na 100%. Toto omezení je hrubé a vede ke zvětšení zóny kondenzace vodní páry ve srovnání s použitím přesnějšího výpočetního modelu. Pro věrohodnější výsledky by bylo nutné provést mnohem složitější výpočet např. iteračně. Tato metoda by ovšem znamenala mnohem větší zásah do programu a není jisté, jestli by byla možná. Z tohoto důvodu bude výsledná oblast kondenzace pouze informativní. [18]

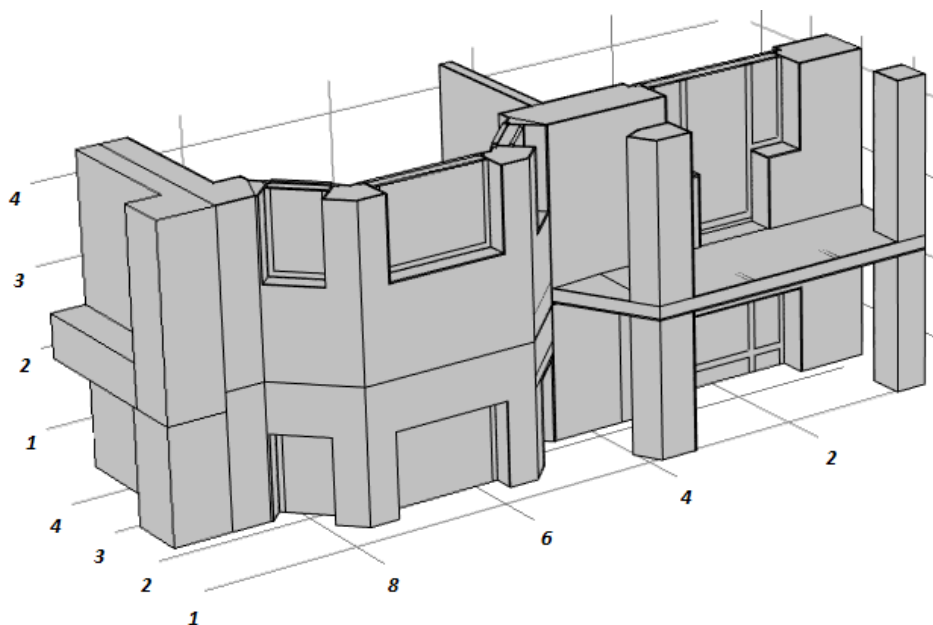
V detailu arkýře nad vjezdovou bránou nebylo z důvodu zjednodušení detailu a snížení tak nároku na výpočetní techniku vymodelováno napojení na konstrukci balkónu a vnitřní příčku.

a) Detail A - Arkýř a balkónu v úrovni stropu 2. nadzemního podlaží

Geometrie modelu



Obrázek 4.3-5: Detail A- Geometrie modelu interiér

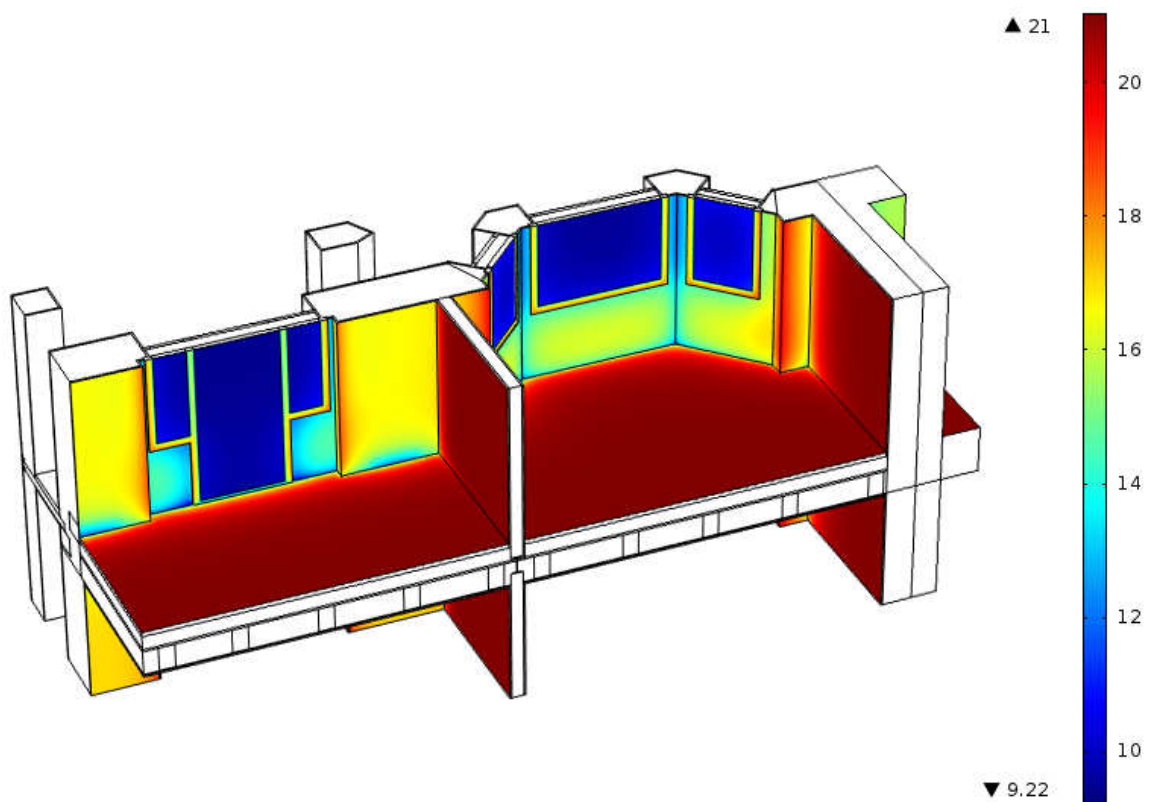


Obrázek 4.3-6: Detail A- Geometrie modelu exteriér

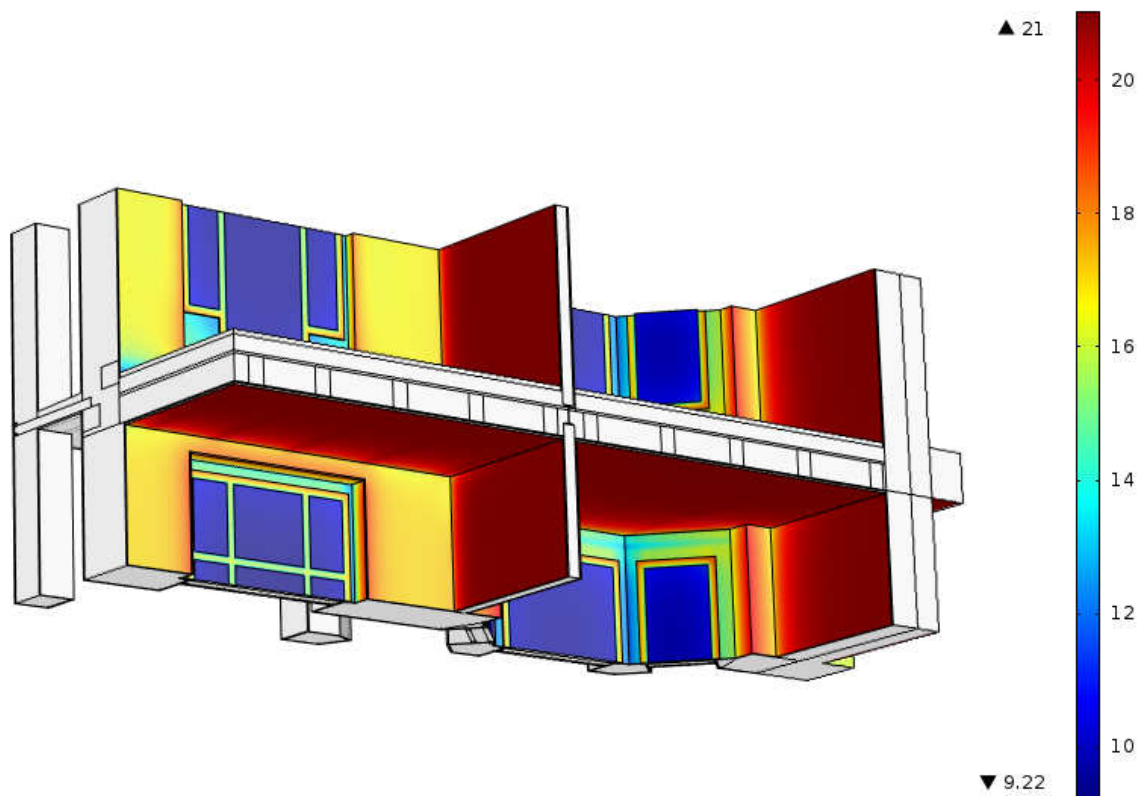
Povrchové teploty

Vnitřní povrchová teplota je důležitým faktorem pro posouzení stávajícího stavu. Dle normy ČSN 730540-2 nesmí povrchová teplota při návrhových podmínkách klesnout pod 12,6°C.

Jak je patrné z obrázku 4.3-8 a 4.3-9, kritická místa jsou podle předpokladu především vnitřní rohy obvodových zdí arkýře, kde je povrchová teplota 11,9°C a hrozí zde riziko tvorby plísní. Dalším rizikovým místem je parapetní zdivo, kde je povrchová teplota v ploše přibližně 14,3°C a v blízkosti rámu 12,4°C. V nadpraží balkonových dveří je povrchová teplota 12,8°C. Jako další kritické místo se ukázalo uložení betonových podkladků u vnitřního povrchu stěny balkónu, které výrazně snižuje povrchovou teplotu stěny na 12,6°C. V nadpraží okenních otvorů snižuje válcovaný I profil teplotu na 12,5°C. Nejnižší povrchová teplota 9,22°C je ovšem u výplní otvorů, kde hrozí riziko povrchové kondenzace. Původní špaletová okna mají součinitel prostupu tepla zasklením $U_w = 2,59 \text{ W/m}^2\text{K}$ a proto se jako první opatření vnitřního zateplení nabízí výměna výplní otvorů.

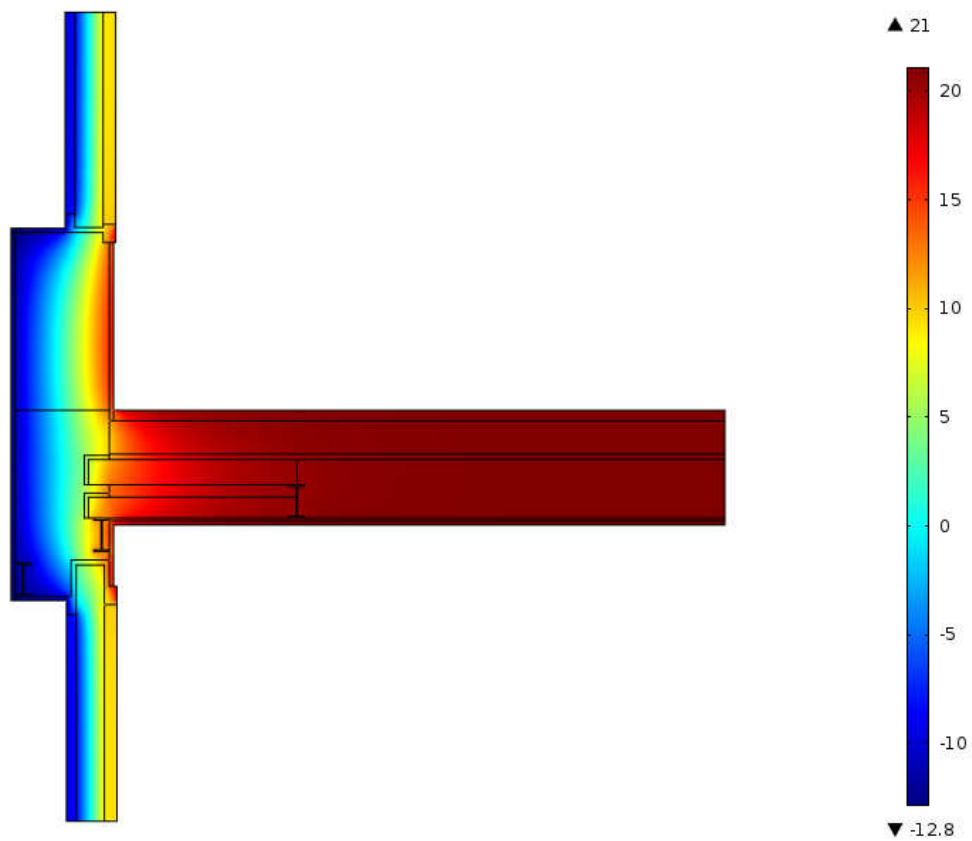


Obrázek 4.3-7: Detail A- Povrchové teploty interiér horní pohled

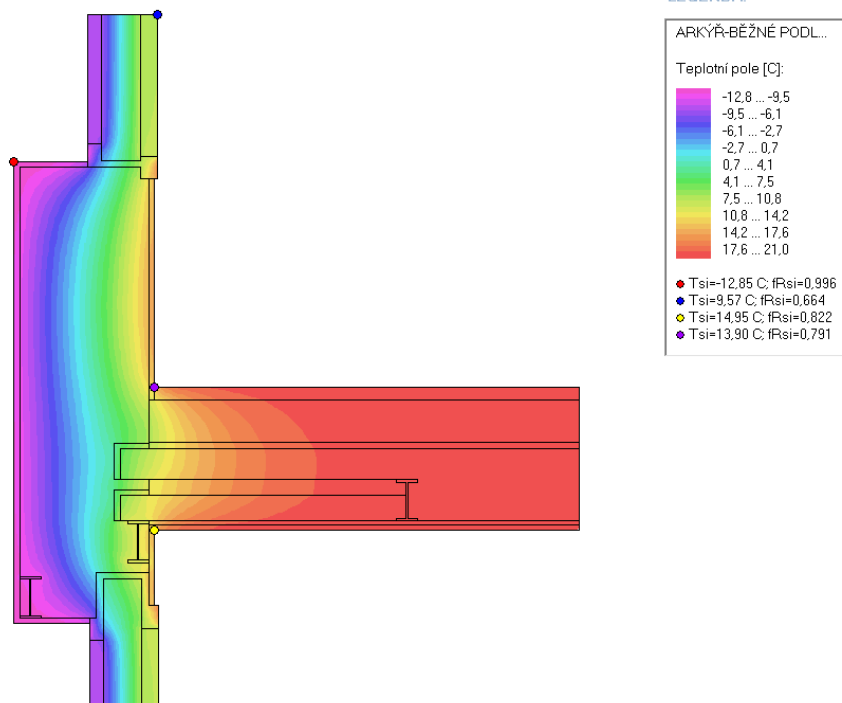


Obrázek 4.3-8: Detail A- Povrchové teploty interiér spodní pohled

Na obrázcích 4.3-10 a 4.3-11 je vidět teplotní pole v řezu arkýřem vedeným stropním trámem. Tyto řezy byly získány každý z jiného výpočetního programu. Na obrázku 4.3-10 vidíme řez získaný z programu COMSOL, který byl vyříznut z 3D modelu arkýře v běžném podlaží. Teplota je v místě napojení na stěnu 14,159°C. Řez na obrázku 4.3-11 byl na rozdíl od předcházejícího vytvořen v programu Area 2014 EDU. Zde byla teplota v místě napojení stěny na podlahu určena na 13,9 °C. Rozdíl mezi detailem vytvořeným v programu COMSOL a Area v tomto místě je 0,259 °C.

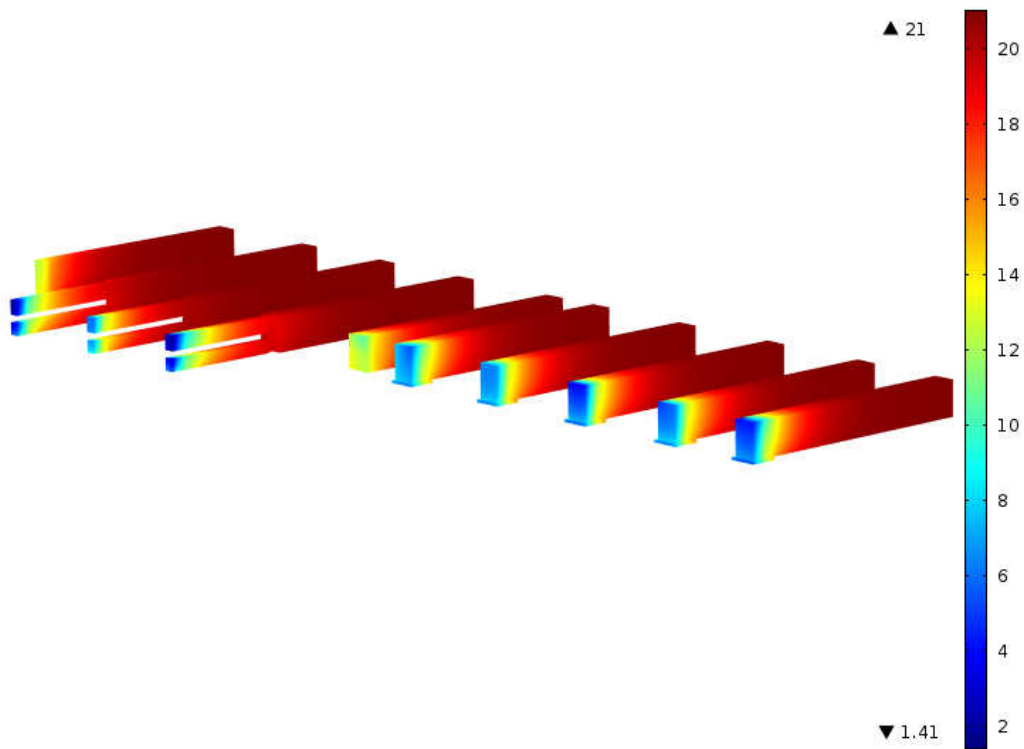


Obrázek 4.3-9: Detail A- Teplotní pole



Obrázek 4.3-10: Detail A- Teplotní pole (Area)

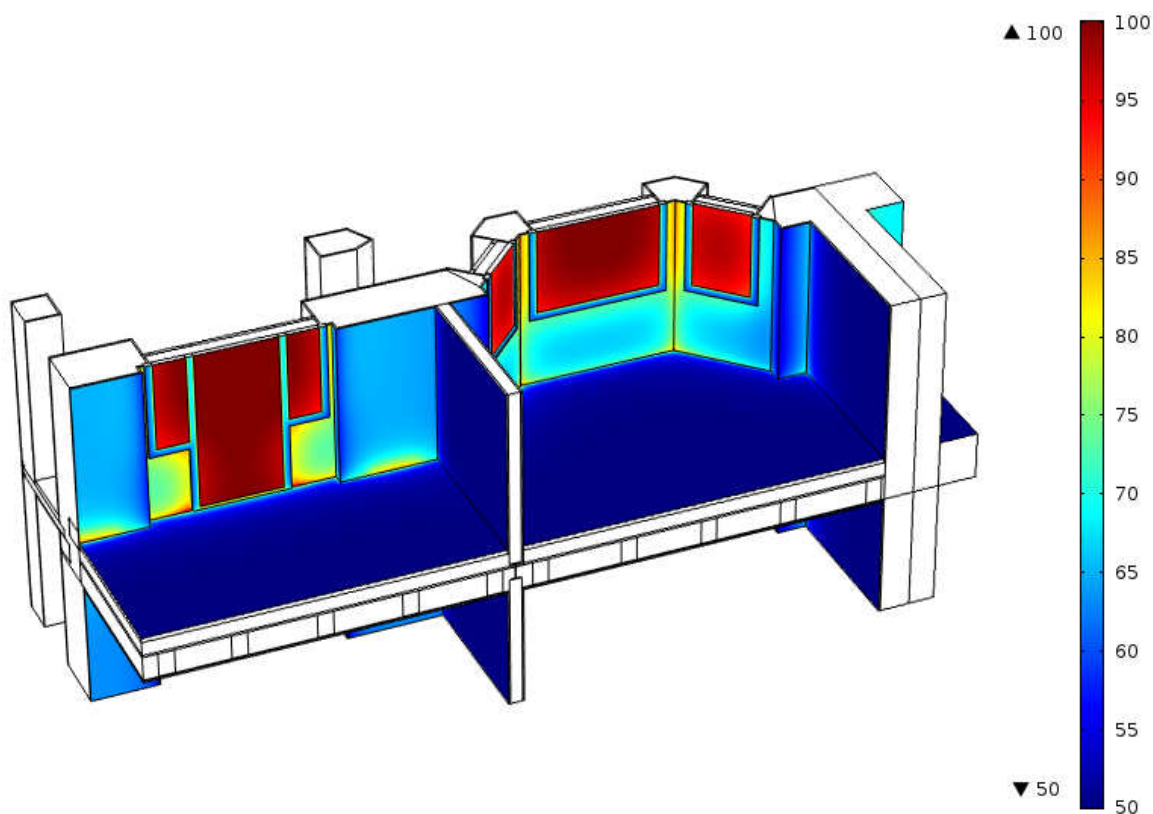
Choulostivým místem z pohledu vnitřního zateplení jsou určitě zhlaví stropní trámů. Po zateplení můžeme očekávat snížením teploty v zhlaví s důvodu snížení teploty ve zdivu vlivem odizolování vnitřních povrchů. V původním stavu je nejnižší povrchová teplota 1,41 °C. Trámy nejnižší povrchovou teplotou jsou v místě arkýřového zdiva.



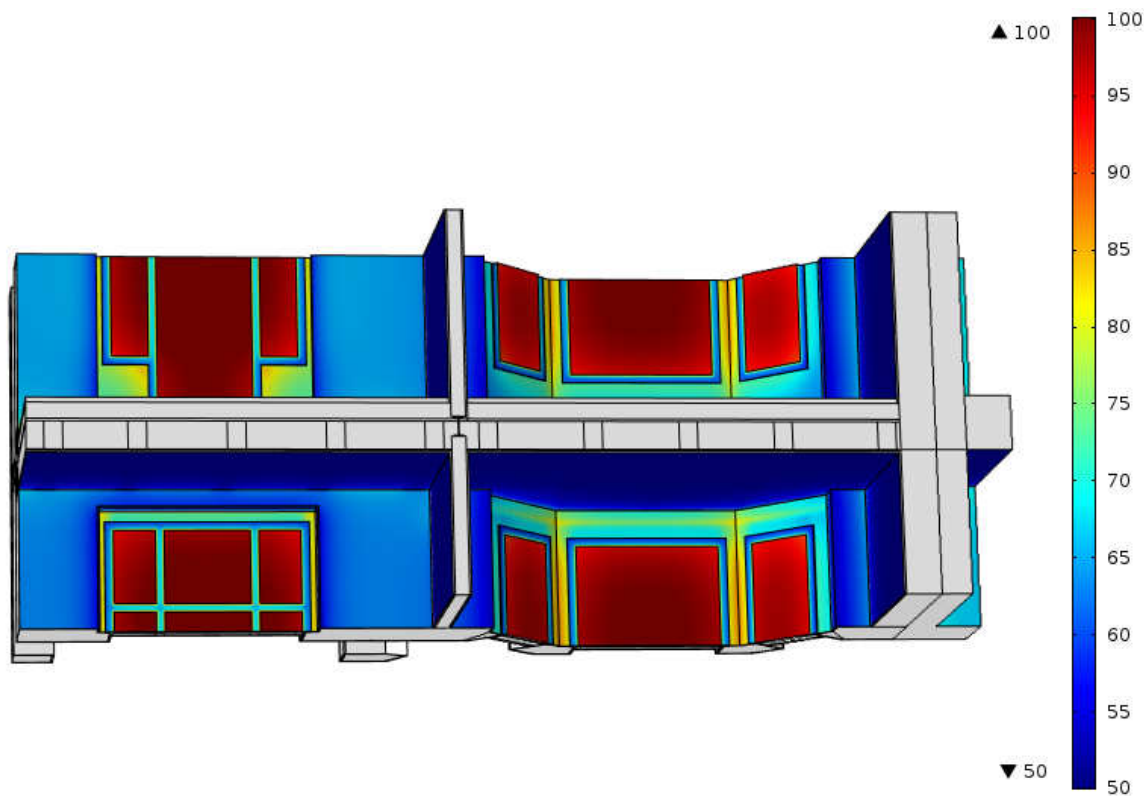
Obrázek 4.3-11: Povrchová teplota trámy

Vlhkost

Z výsledných povrchových teplot je patrné, že v detailu je několik míst, kde hrozí tvorba plísní a povrchová kondenzace. Nejchladnější místa detailu byla zasklení, kde je relativní vlhkost 100%. Trochu lépe jsou na tom vnitřní rohy arkýře, kde se relativní vlhkost pohybuje okolo 86%. Další z rizikových konstrukcí je uložení betonových podkladků, kde je relativní vlhkost 84,5%. V místě uložení válcovaných I profilů v nadpraží je hodnota vlhkosti 82,3%.



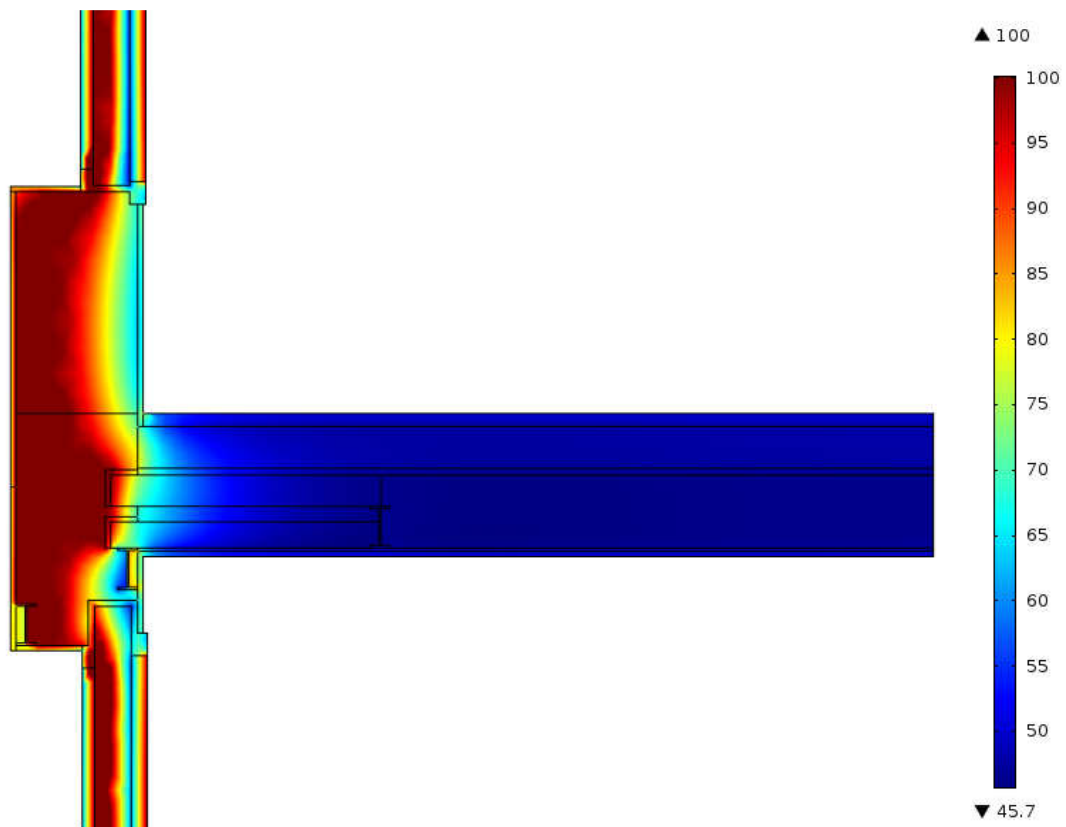
Obrázek 4.3-12: Detail A- Relativní vlhkost horní pohled



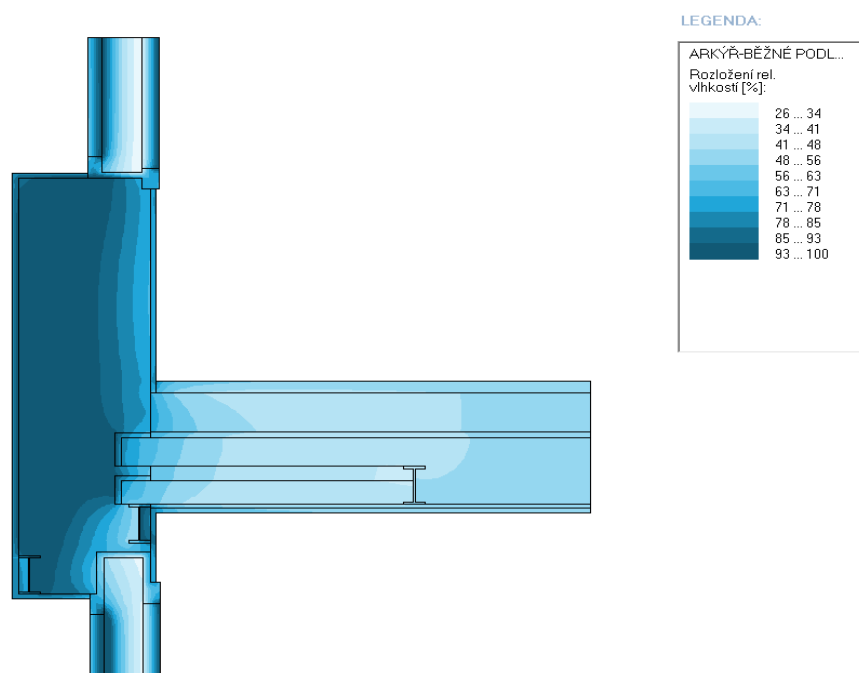
Obrázek 4.3-13: Detail A- Relativní vlhkost horní pohled

Na obrázku 4.3-15 a 4.3-16 je vidět rozložení relativní vlhkosti v detailu arkýře vytvořených v programu COMSOL a Area. Je zde vidět rozdíl mezi výpočetními metodami. Věrohodnější výsledky o vlhkostním chování očekáváme od programu Area, kde je maximální hodnota relativní vlhkosti v místě zhlaví 82,7%. Ve srovnání s detailem z programu COMSOL, kde hodnota relativní vlhkost dosahuje 100 %

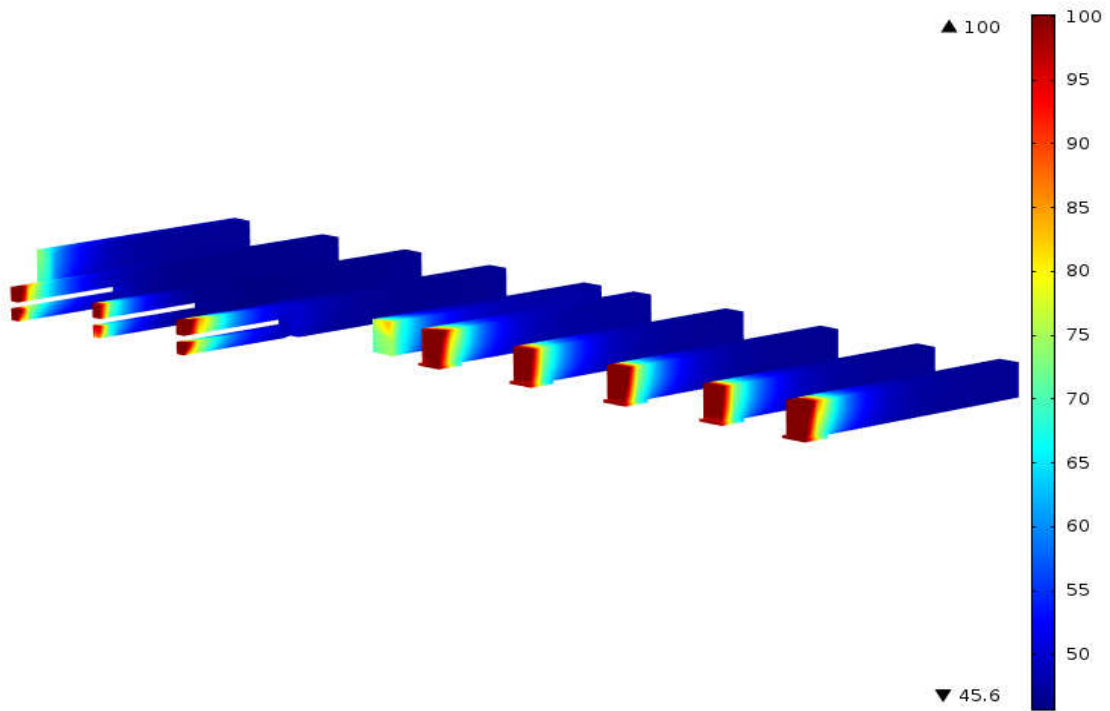
Je patrné, že nebezpečným místem je zhlaví stropních trámů. Trámy jsou uloženy ve zděné kapse se vzduchovou mezerou tl. 20 mm. Na obrázku 4.3-17 vidíme, že relativní vlhkost ve zhlaví stropních trámů dosahuje 100%. Po použití vnitřního zateplení očekáváme rozšíření oblasti, kde relativní vlhkost dosahuje 100%. Jak už bylo řečeno program COMSOL je omezen vlhkostí na 100 % a proto jsou výsledky pouze informativní a slouží především jako prostředek pro srovnání variant zateplení.



Obrázek 4.3-14:Detail A- Relativní vlhkost řez



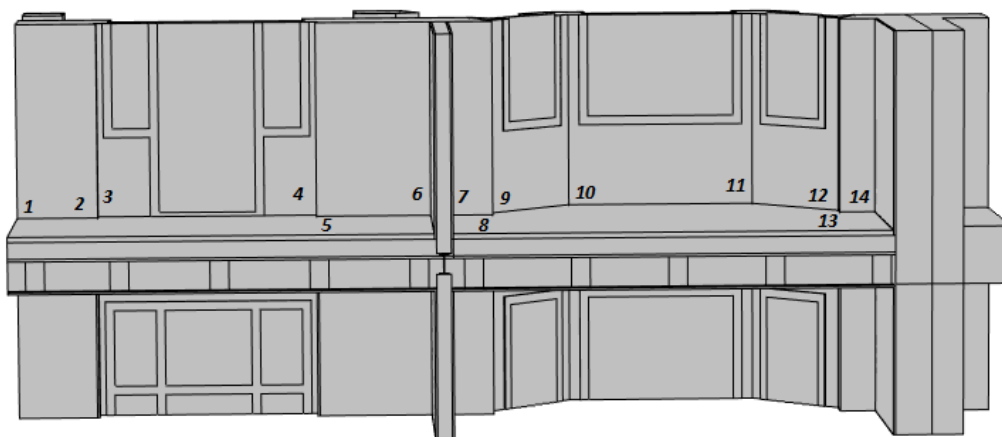
Obrázek 4.3-15 Detail A- Relativní vlhkost řez (Area)



Obrázek 4.3-16 Detail A- Relativní vlhkost trámy

Pro posouzení stávajících teplot a teplot po zateplení budeme také využívat koutové body na podlaze a stropě.

Relativní vlhkost a povrchová teplota v koutových bodech

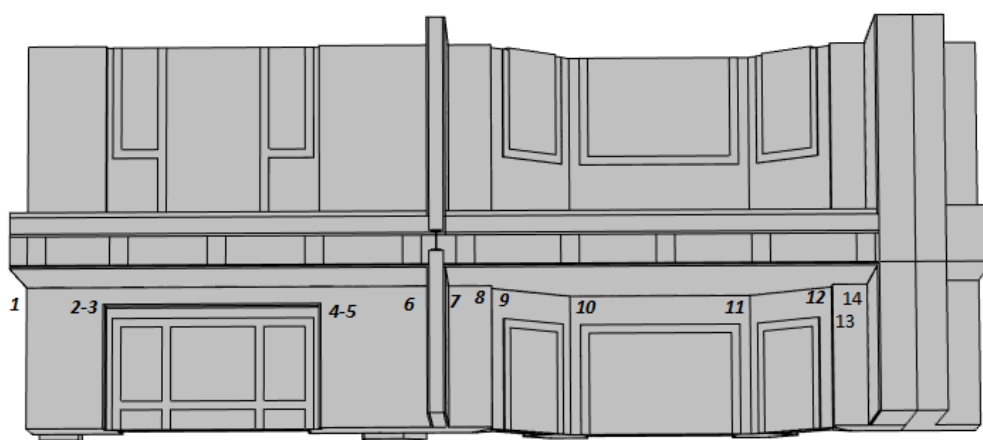


Obrázek 4.3-17: Detail A- Koutové body podlaha

Tabulka 4.3-3: Detail A- Relativní vlhkost teplota v koutových bodech na podlaze

Bod č.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teplota [°C]	11,51	16,69	11,79	11,73	16,65	14,99	15,55
RH [%]	88,54	64,47	86,75	87,07	64,62	71,31	68,88

Bod č.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Teplota [°C]	18,75	15,29	11,25	11,25	15,19	18,54	14,51
RH [%]	57,03	70,02	89,71	89,73	70,45	57,72	73,36



Obrázek 4.3-18: Detail A- Koutové body strop

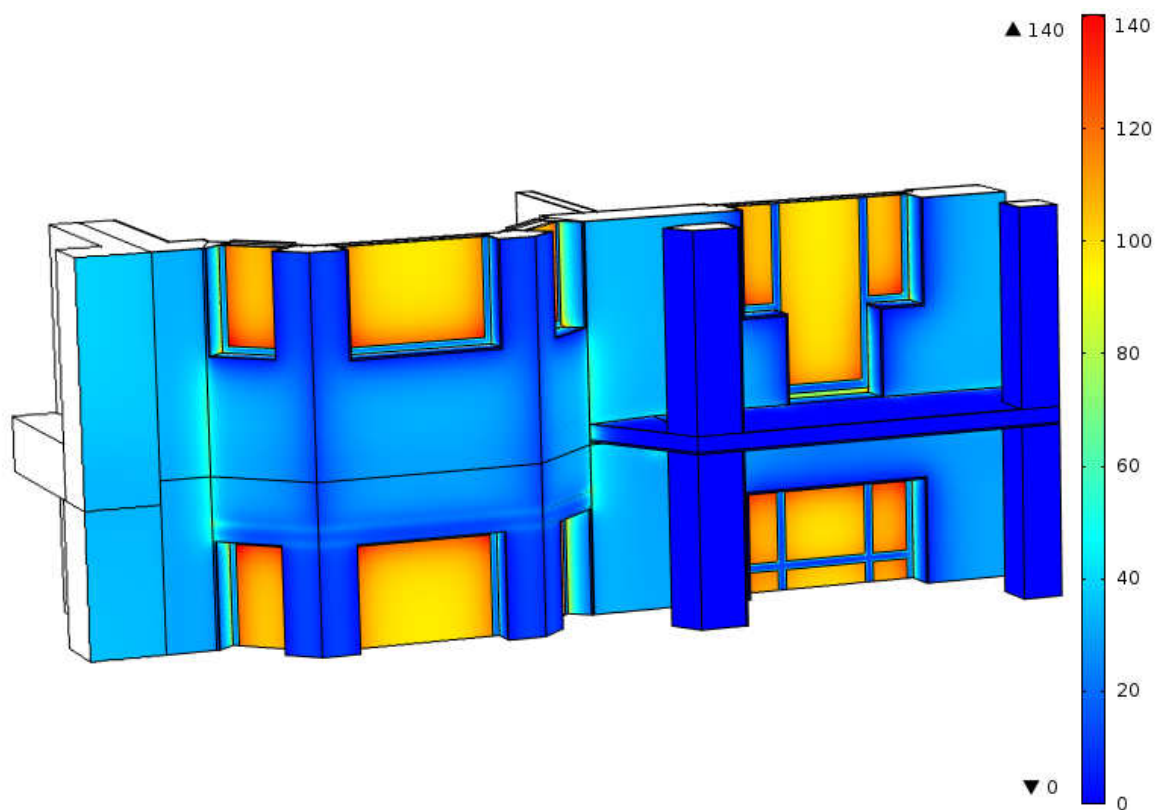
Tabulka 4.3-4: Detail A- Relativní vlhkost teplota v koutových bodech na stropě

Bod	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teplota [°C]	16,20	18,39	12,34	12,32	18,41	16,57	16,84
RH [%]	66,36	58,26	83,70	83,80	58,19	64,84	63,81

Bod	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Teplota [°C]	19,49	15,92	13,41	13,43	15,75	19,35	16,00
RH [%]	54,60	67,48	78,67	78,61	68,2	55,03	67,06

Tepelný tok

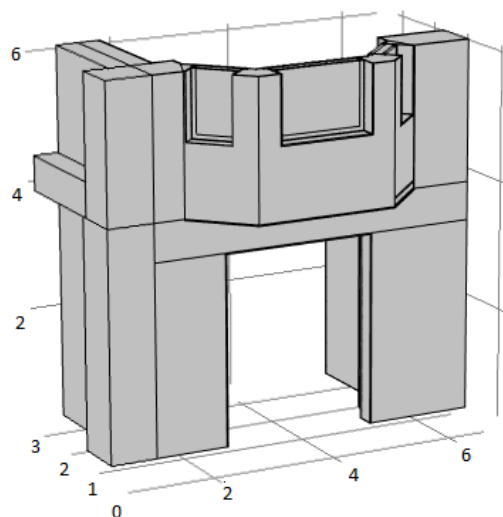
Nejvyšší hustota tepelného toku v exteriéru odpovídá místům s největší povrchovou teplotou. Na tomto detailu se jedná především o napojení arkýřového zdiva na nosné zdivo, kde je teplotní tok kolem 50 W/m^2 . Na detailu je jasně vidět probarvení válcovaného I profilu v místě okenních nadpraží s tepleným tokem $20,3 \text{ W/m}^2$. Největší hustota tepelného toku je prosklením okenních otvorů s hodnotou $90\text{-}105 \text{ W/m}^2$. Celkový tepelný tok obvodovým zdivem je $1008,1 \text{ W}$ a prosklením $948,54$. Celkový tepelný tok celým detailem je $1956,64 \text{ W}$.



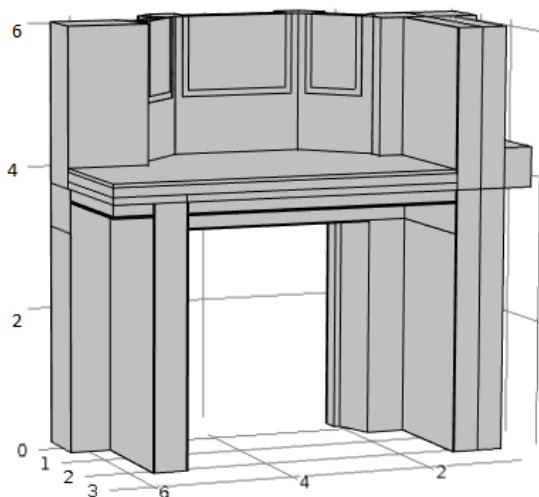
Obrázek 4.3-19: Tepelný tok exteriér

b) Detail B - Arkýř nad vjezdovou bránou

Geometrie modelu



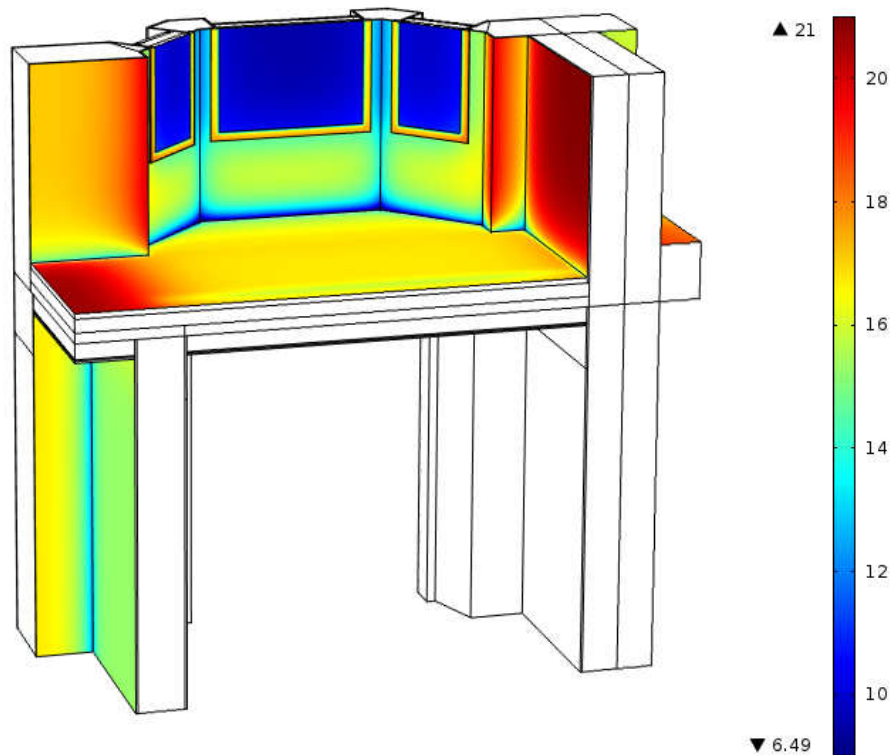
Obrázek 4.3-20: Detail B- Geometrie modelu exteriér



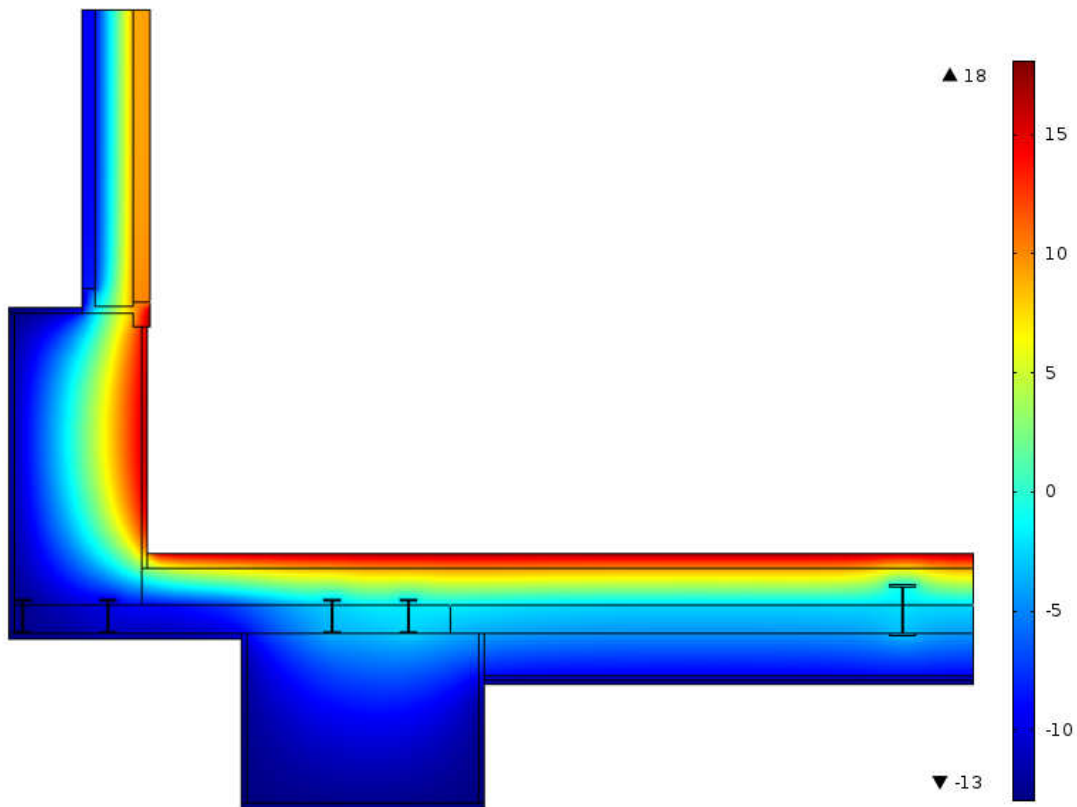
Obrázek 4.3-21: Detail B- Geometrie modelu interiér

Povrchové teploty

Stejně jako v předchozím detailu jsou výplně otvorů místem s velmi nízkou povrchovou teplotou, která dosahuje pouhých 9,5°C. Oproti předchozímu detailu, kde okna byla nejhorším místem konstrukce, v tomto detailu můžeme nalézt místa s ještě nižší teplotou. Jedná se o styk arkýřového zdiva s podlahou, kde je teplota 6,5°C. V tomto místě se dala očekávat velmi nízká teplota. Důvodem je, že skladbu podlahy nad exteriérem tvoří pouze dusaná betonová deska, násyp, hrubá a čistá podlaha. Proti promrzání arkýře se v některých případech na betonový strop i dutinové zdivo používala korková izolace. V našem případě není použita ve stěnách a proto nebyla vložena ani do skladby podlahy. Z detailu je patrné snížení teploty v místě uložení nosné konstrukce arkýře z válcovaných I profilů do nosného zdiva na 13,1°C. Dalším prvkem snižujícím teplotu podlahy je uložení válcovaného I profilu nesoucí dutinové stropní panely. V tomto místě teplota klesne na 15,9 °C.



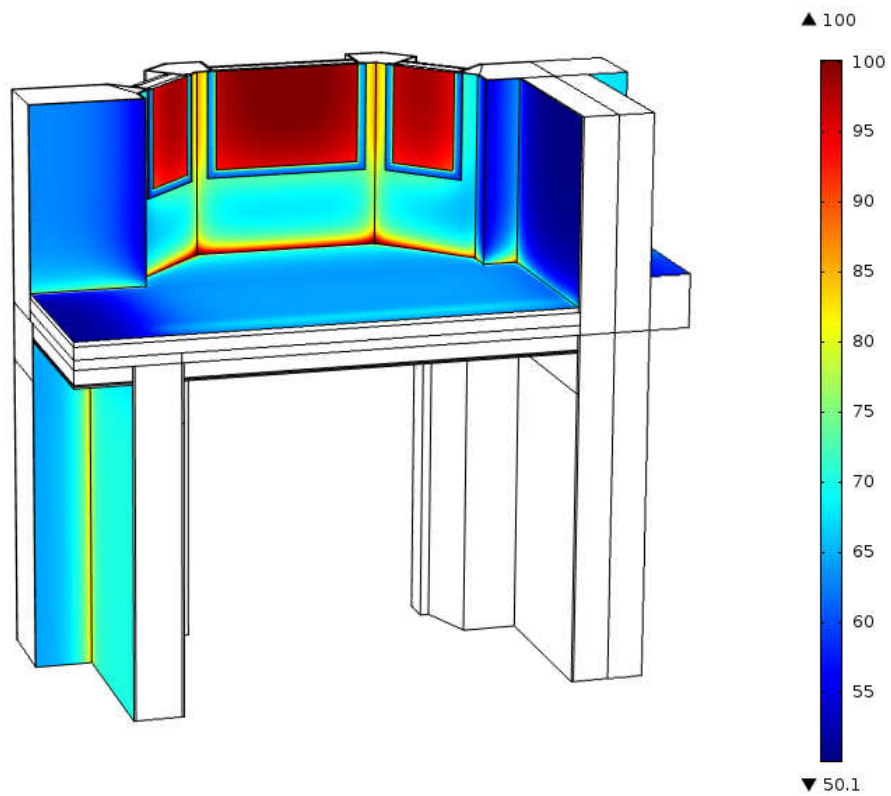
Obrázek 4.3-22: Detail B- Vnitřní povrchová teplota



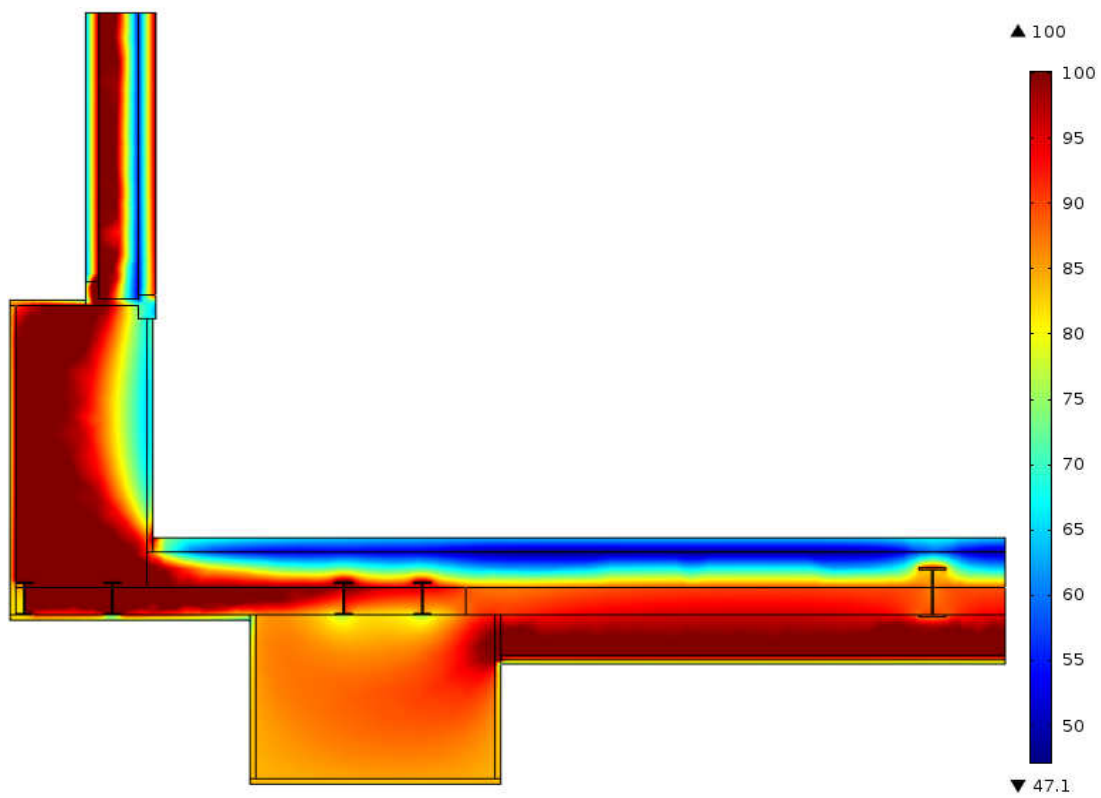
Obrázek 4.3-23: Detail B- Teplotní pole

Vlhkost

Důsledkem velmi nízkých povrchových teplot se dalo očekávat, že v místech okenních otvorů a napojení arkýřového zdiva na podlahu bude docházet k povrchové kondenzaci. Tuto predikci nám potvrdil výpočetní model, jak je patrné z obrázku 4.3-25. Podél celého styku arkýřového zdiva s podlahou dosahuje hodnota relativní vlhkosti 100%. Na obrázku 4.3-26 vidíme rozložení relativní vlhkosti vřezu arkýřem nad vjezdovou bránou.



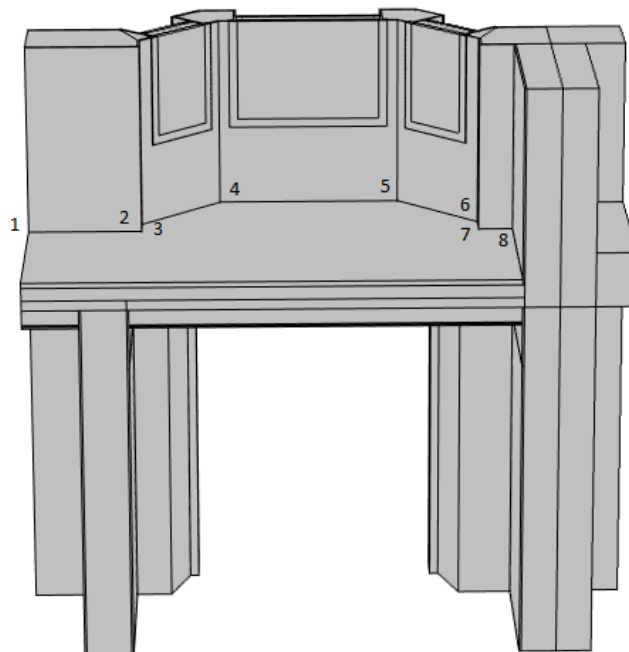
Obrázek 4.3-24: Detail B- Relativní vlhkost interiér



Obrázek 4.3-25: Detail B- Relativní vlhkost řez

Pro posouzení stávajících teplot a teplot po zateplení budeme také využívat koutové body na podlaze.

Relativní vlhkost a povrchová teplota v koutových bodech



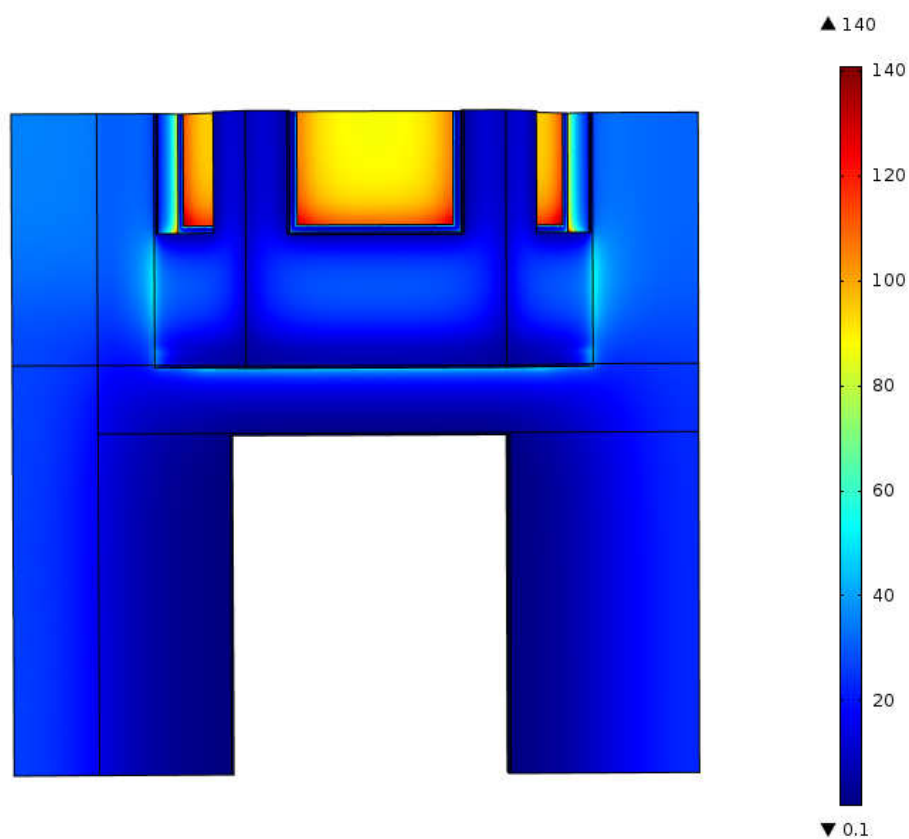
Obrázek 4.3-26: Detail B- Body

Tabulka 4.3-5: Relativní vlhkost a teplota v koutových bodech

Bod	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Teplota [°C]	14,50	15,74	10,73	6,50	6,49	9,97	15,16	10,5
RH [%]	73,50	62,26	92,66	100	100	97,19	70,70	93,88

Tepelný tok

Největší hustota tepelného toku je 113 W/m^2 přes prosklení. Dalším místem se zvýšenou hustotou je napojení arkýřového zdiva obvodovou konstrukcí. Tento lineární tepelný most byl jasně vidět také na snímkách z termokamery. V tomto místě dosahuje hodnoty $51,8 \text{ W/m}^2$



Obrázek 4.3-27:Detail B- Tepelný tok exteriér

Celkový tepelný tok obvodovými konstrukcemi je $1344,5 \text{ W}$ a okenními otvory $272,8 \text{ W}$. Celková tepelná ztráta detailu je $1617,3 \text{ W}$.

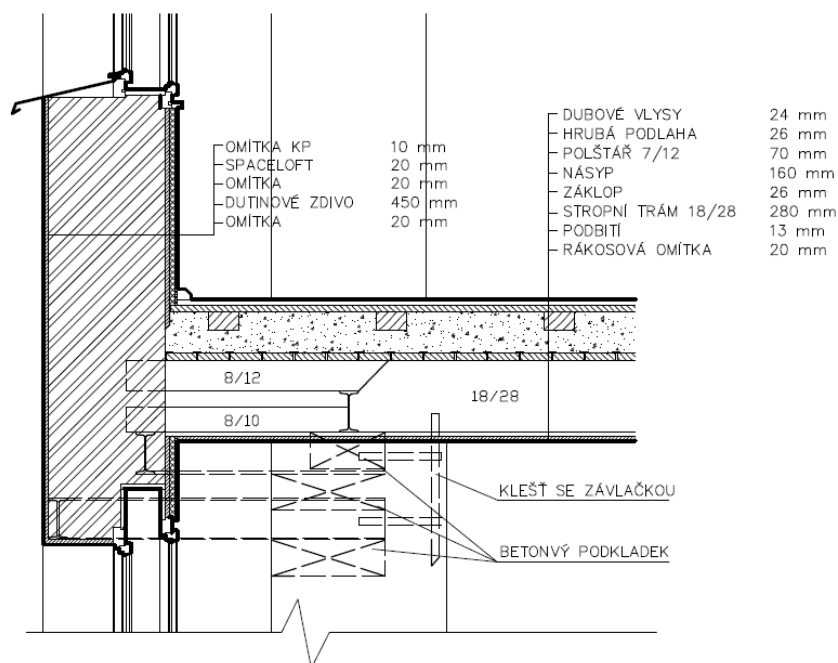
4.4 Varianta I - Neprůběžné zateplení

V této kapitole se ukáže vliv vnitřního zateplení v případě provedení izolace neprobíhající skrz stropní konstrukci a skladbu podlah.

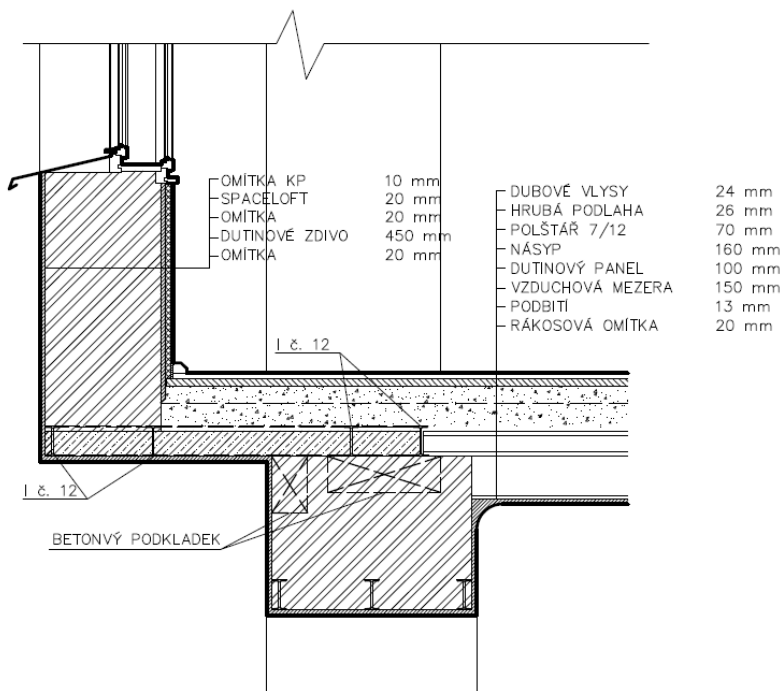
4.4.1 Konstrukční řešení

Pro vnitřní zateplení jsou použity dva materiály. Prvním jsou vápenosilikátové kapilárně aktivní desky Calsitherm tl. 50 mm. Desky Calsitherm jsou použity na větší a tvarově jednodušší plochy. Druhým materiál je aerogelová izolace Spaceloft používané na stěny arkýře, ostění a nadpraží okenních otvorů.

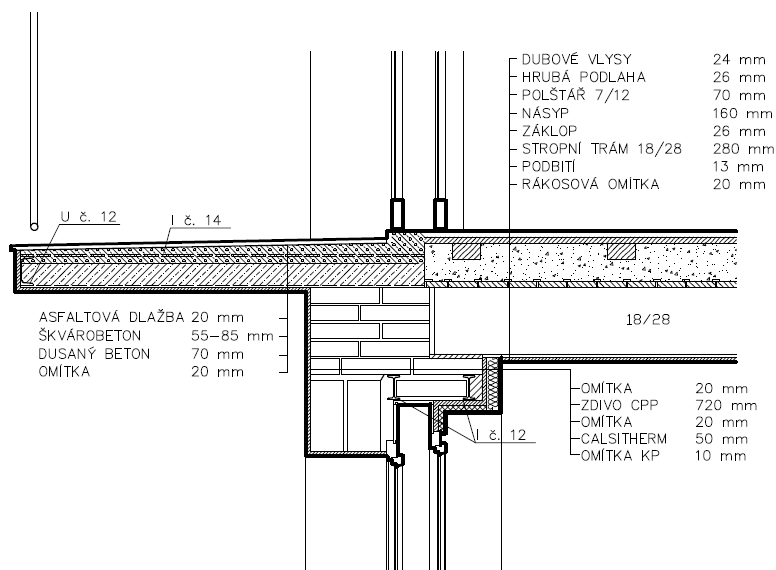
Tato varianta minimalizuje zásah do původních konstrukcí, není potřeba demontovat skladby podlah ani podbití s omítkou stropů. Tím bude montáž zateplení trvat kratší dobu. A je možné každý byt nebo pokoj dělat samostatně podle požadavků investora.



Obrázek 4.4-1: Detail arkýře běžného podlaží- Varianta I



Obrázek 4.4-2: Detail arkýře nad vjezdem- Varianta I

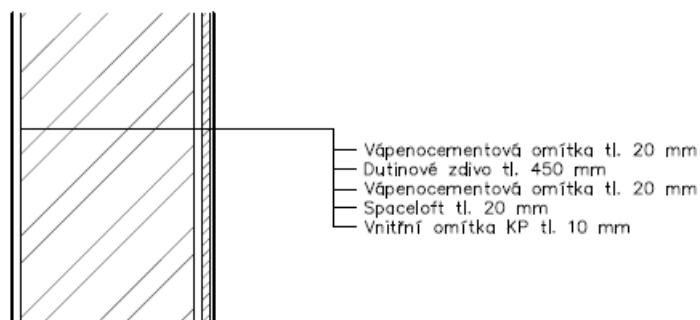
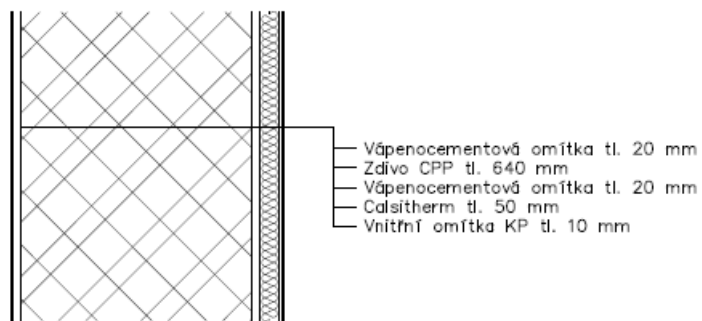
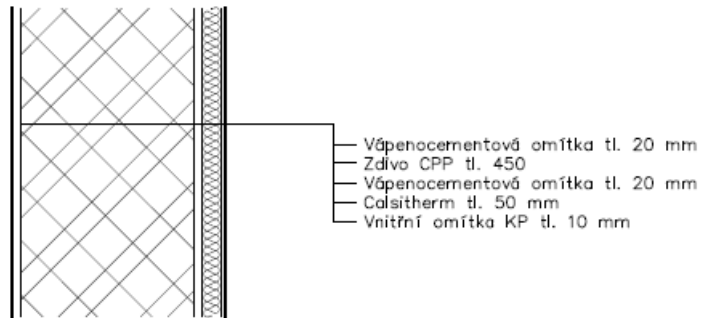


Obrázek 4.4-3 Detail balkónu- Varianta I

4.4.2 Posouzení plošných konstrukcí neprůběžného zateplení

Pro názornost budou posuzovány stejné konstrukce jako v původním stavu s přidáním vnitřního zateplení. Jedná se o stěnu z CPP tl. 640 mm zateplenou deskami Calsitherm tl. 50 mm s vnitřní omítkou Calsitherm KP tl. 10 mm. Další posuzovaná

stěna je z CPP tl. 450 mm, která je zateplená také pomocí desek Calsitherm tl. 50mm s vnitřní omítkou KP. Poslední posuzovaná konstrukce je stěna arkýře z dutinových cihel tl. 450 mm zateplená aerogelovou izolací Spaceloft tl. 20 mm s omítkou KP tl. 10 mm.



Obrázek 4.4-4: Skladby plošných konstrukcí- Varianta I

Stacionární posouzení

Okrajové podmínky jsou stejné jako v předchozí kapitole. Vnější návrhová teplota $T_e = -13$ °C s relativní vlhkostí vnějšího vzduchu $\varphi_e = 84\%$. Vnitřní teplota $T_i = 21$ °C a vnitřní relativní vlhkost 50%. Součinitele prostupu tepla na vnitřním povrchu $R_{si} = 0,13$ m²K/W a na vnějším povrchu $R_{se} = 0,04$ m²W/K. V případě výpočtu poklesu povrchové teploty součinitel prostupu na vnitřním povrchu $R_{si} = 0,25$ m²K/W.

Po zateplení všechny plošné konstrukce splňují normové požadavky na povrchovou teplotu a teplotní faktor s rezervou. Normový požadavek na součinitel prostupu tepla ovšem žádná plošná konstrukce nespĺnila. [15]

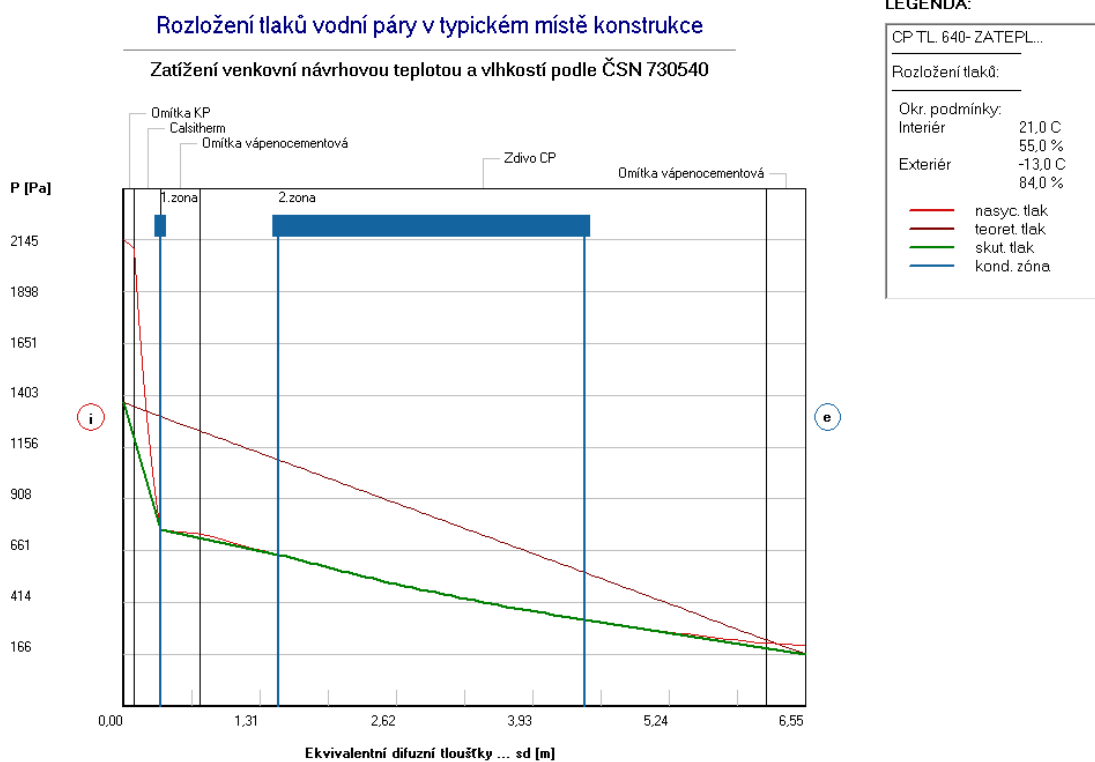
Tabulka 4.4-1: Posouzení plošných konstrukcí na šíření tepla

Konstrukce	Povrchová teplota			Teplotní faktor			Součinitel prostupu tepla		
	T _{si,P} [°C]			f,R _{si,P} [-]			U [W/m ² K]		
	Vypočtená	Pož.		Vypočtená	Pož.		Vypočtená	Pož.	
CP tl. 640 mm + Calsitherm 50 mm	16,71	>	12,6	0,874	>	0,753	0,537	>	0,3
CP tl. 450 mm + Calsitherm 50 mm	16,13	>	12,6	0,857	>	0,753	0,616	>	0,3
Dutinové zdivo tl. 450 mm + Spaceloft 20 mm	17,54	>	12,6	0,898	>	0,753	0,428	>	0,3

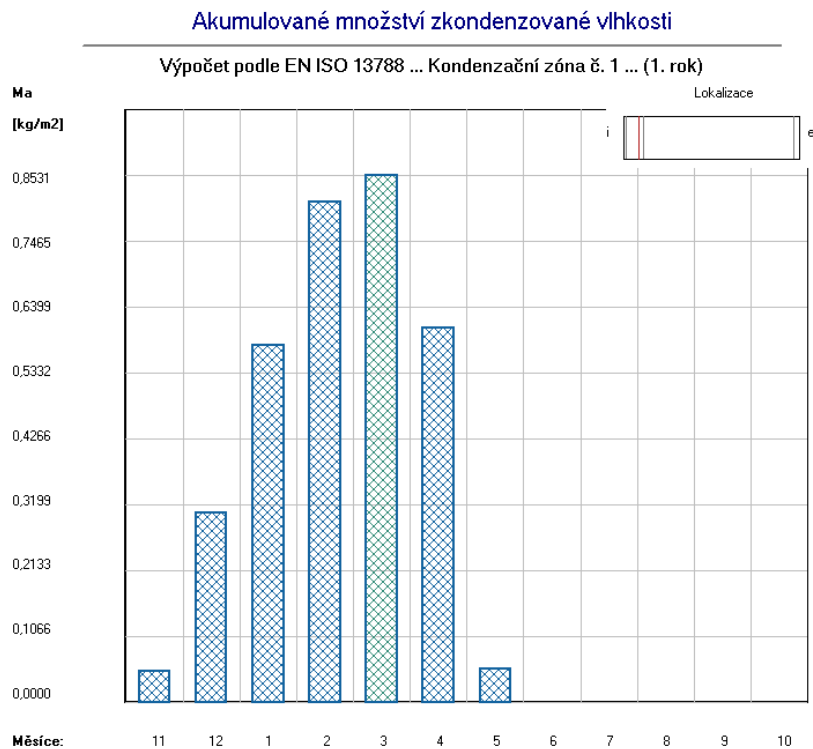
Vlivem vnitřního zateplení výrazně vzrostlo množství zkondenzované vodní páry. Hodnoty zkondenzované vodní páry dosahují až stonásobku hodnoty před zateplením. Množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a}$ nesplňuje normovou podmínku $M_{c,a} \leq M_{c,n}$. Kde $M_{c,n}$ je menší z hodnot 0,5 Kg/(m²a) nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci. Všechny konstrukce splňují podmínku $M_{c,a} \leq M_{ev,a}$, kde $M_{ev,a}$ představuje vypařitelné množství vodní páry. To znamená, že na konci modelového roku je zóna suchá. [15]

Tabulka 4.4-2: Posouzení plošný na kondenzaci vodní páry

Konstrukce	Množství zkondenzované vodní páry	Množství vypařitelné vodní páry
	Mc,a [kg/m2rok]	Mev,a [kg/m2rok]
CP tl. 640 mm + Calsitherm 50 mm	1,1852	6,6387
CP tl. 450 mm + Calsitherm 50 mm	1,8375	5,9331
Dutinové zdivo tl. 450mm + Spaceloft 20 mm	3,9839	9,6377



Graf 4.4-1: Rozložení tlaků vodní páry u zateplené stěny z CPP tl. 640 mm



LEGENDA:

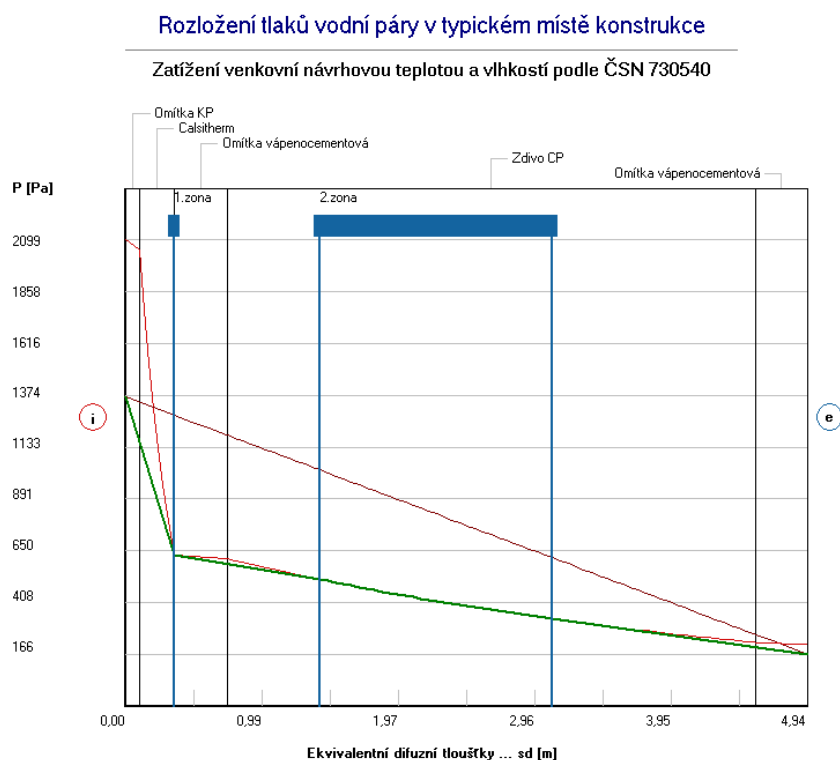
CP TL 640- ZATEPL...

Akumulovaná vlhkost:

Rok výpočtu č. 1
Kond. zóna č. 1

Na konci model. roku je zóna vysušená.

Graf 4.4-2: Akumulované množství zkondenzované vlhkosti u zateplené stěny z CPP tl.640 mm



LEGENDA:

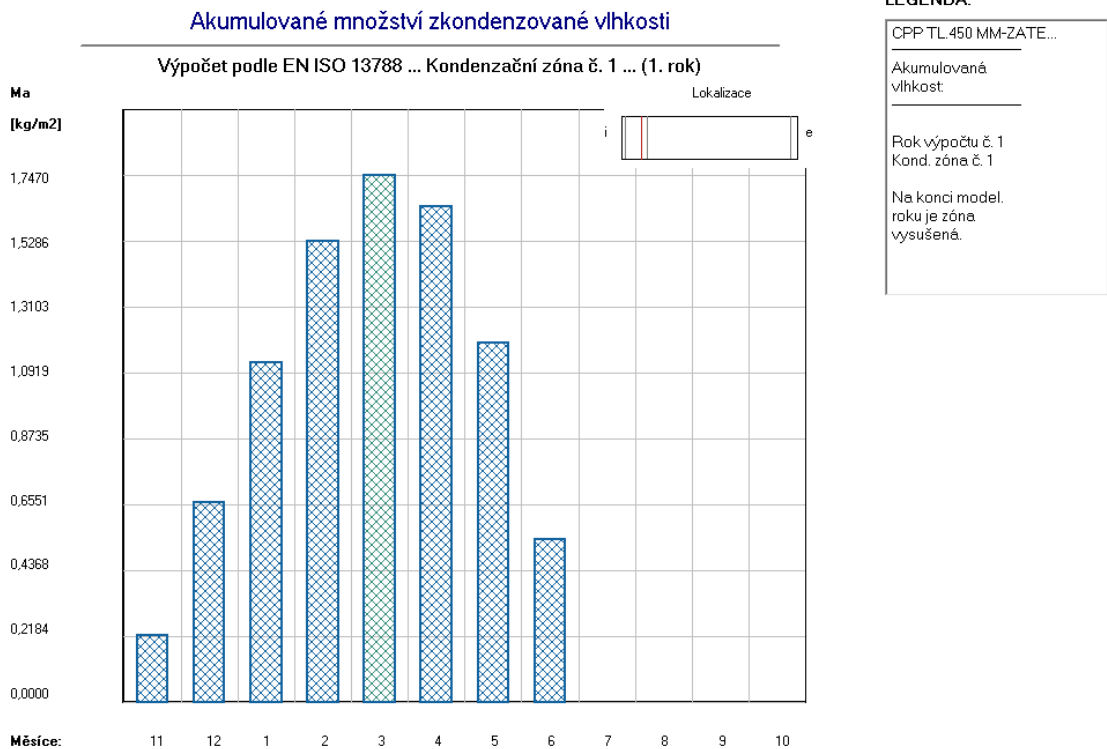
CPP TL 450 MM-ZATE...

Rozložení tlaků:

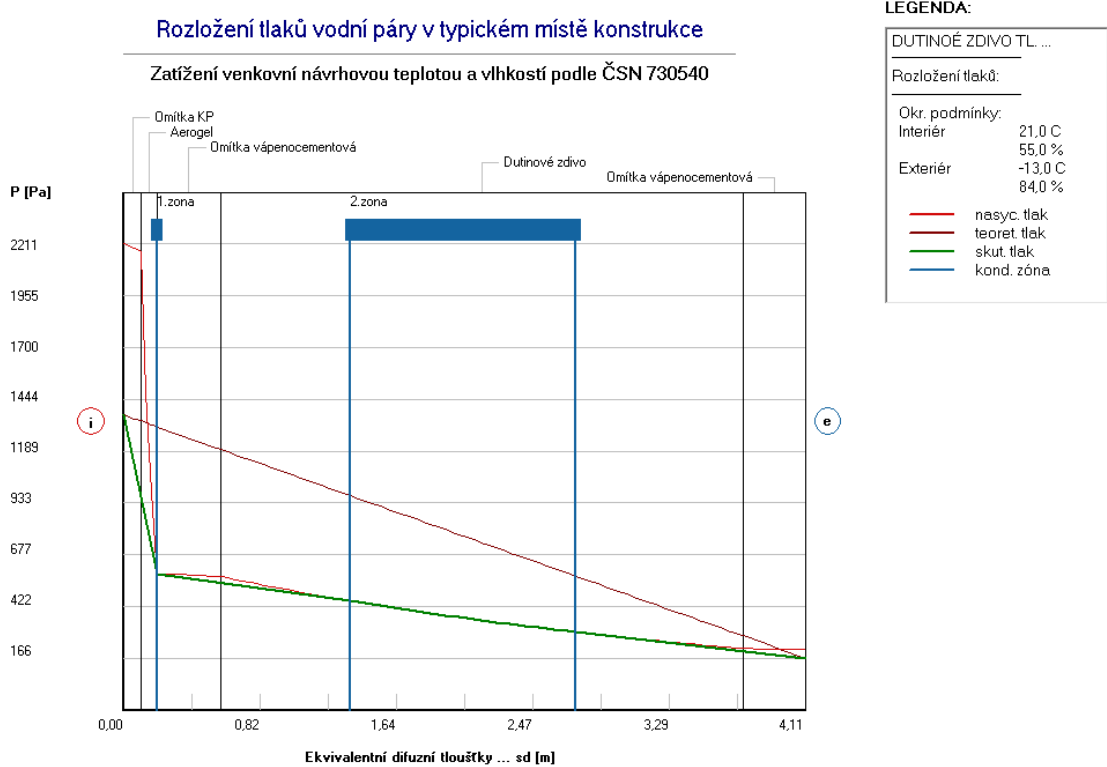
Okr. podmínky:
 Interiér 21,0 C
 55,0 %
 Exteriér -13,0 C
 84,0 %

— nasyc. tlak
 — teoret. tlak
 — skut. tlak
 — kond. zóna

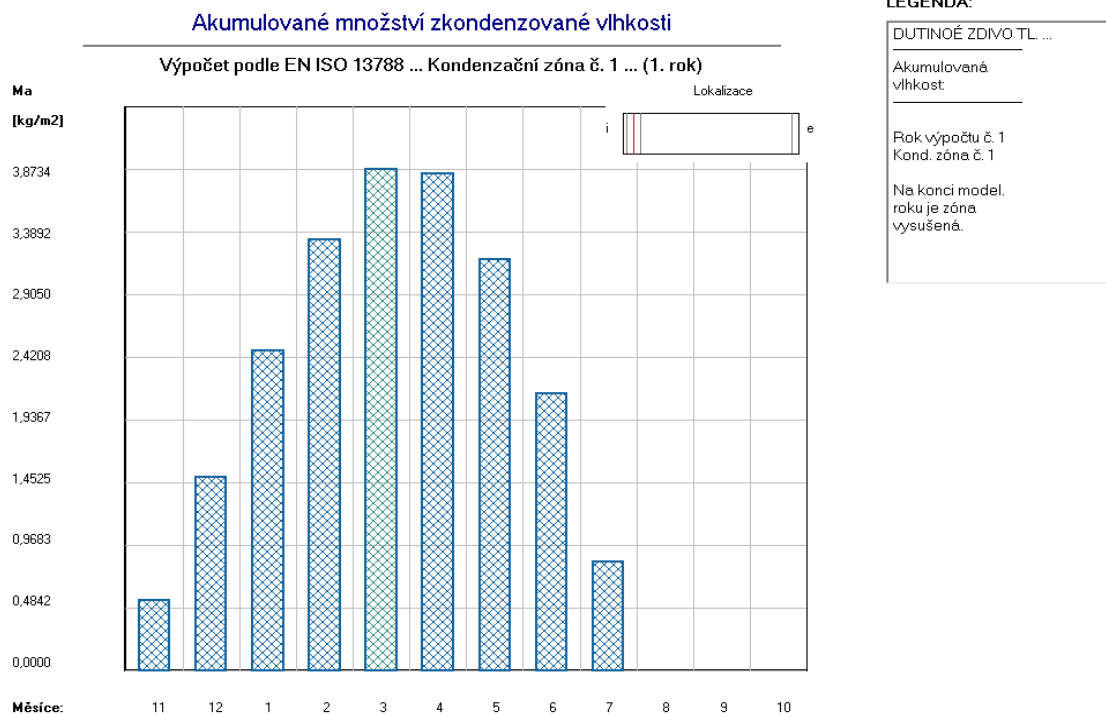
Graf 4.4-3: Rozložení tlaků vodní páry u zateplené stěny z CPP tl. 450 mm



Graf 4.4-4: Akumulované množství zkondenzované vlhkosti u zateplené stěny z CPP tl. 450 mm

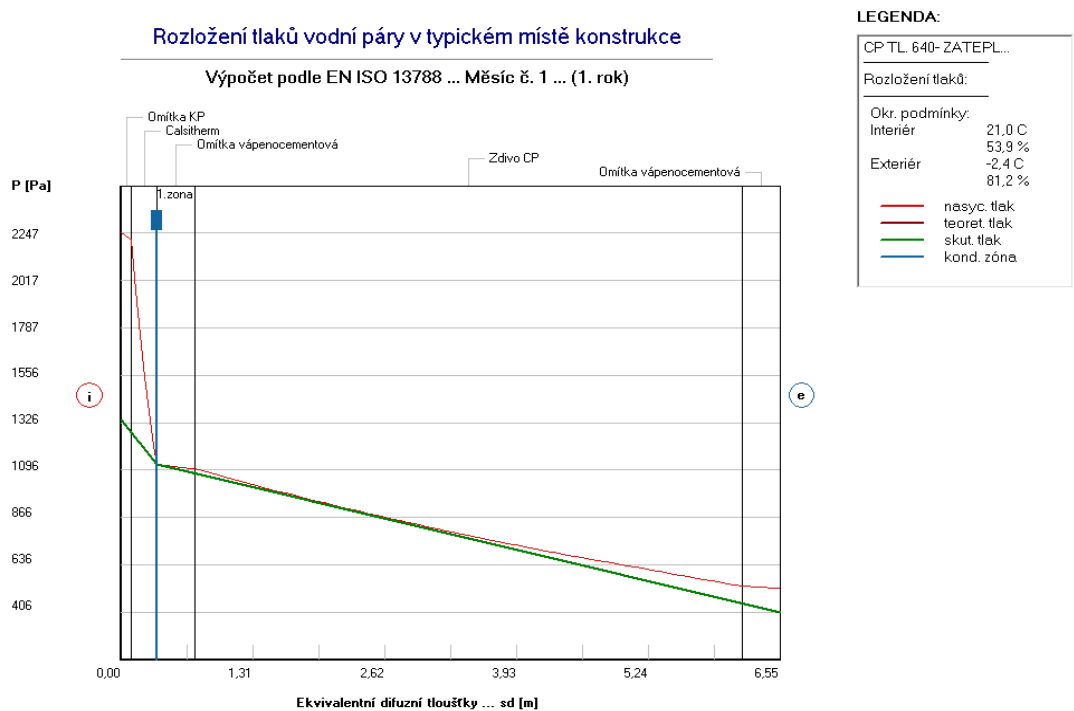


Graf 4.4-5: Rozložení tlaků vodní páry u zateplené stěny z dutinového zdiva tl. 450 mm

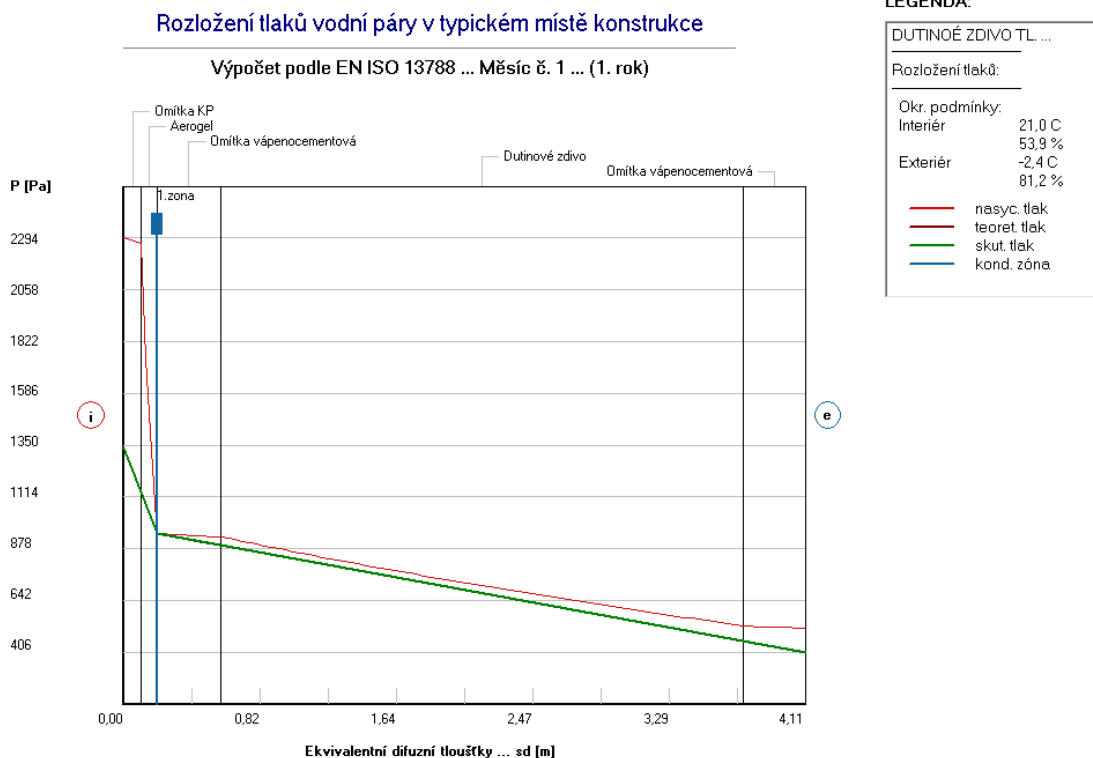


Graf 4.4-6: Akumulované množství zkondenzované vlhkosti u zateplené stěny dutinového zdiva tl..

V případech, kdy upravíme vnější okrajové podmínky na průměrnou lednovou teplotu $\Theta_e = -2,6 \text{ °C}$ a relativní vlhkost $\varphi_e = 81,2\%$ je oblast kondenzace menší, jak je vidět na grafech 4.4-7 a 4.4-8.



Graf 4.4-7: Rozložení tlaků vodní páry u zateplené stěny z CCP tl. 640 mm a $\varphi_e=81,2\%$ a $\Theta_e= -2,4 \text{ °C}$



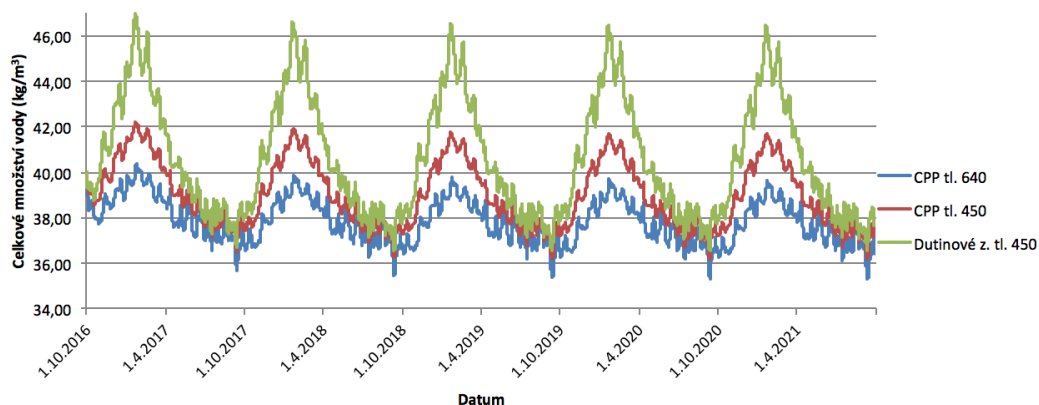
Graf 4.4-8: Rozložení tlaků vodní páry u zateplené stěny z dutinového zdiva tl. 450 mm a $\phi_e=81,2\%$ a $\Theta_e=-2,4\text{ }^\circ\text{C}$

Nestacionární posouzení

Norma ČSN 730540-2 nám umožňuje v odůvodněných případech, jakou jsou například konstrukce, ve kterých jsou použity kapilárně aktivní materiály. Použitím pokročilejších výpočetních metod lze dokázat, že v žádné vrstvě konstrukce nedochází k trvalému navýšování hmotnostní vlhkosti. V těchto případech se nemusí dodržet požadavek na množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} \leq M_{c,n}$. Kde $M_{c,n}$ je menší z hodnot 0,5 Kg/(m²a) nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci. Ale musí být prokázáno, že zkondenzované množství vodní páry uvnitř konstrukce neohrozí její funkčnost. [15]

První část normového požadavku je splněna. Během modelového období nedochází k trvalému navýšování hmotnostní vlhkosti v konstrukci viz. graf 4.4-9. Bohužel nejsme schopni prokázat, že zvýšená vlhkost v konstrukci neohrozí její funkčnost a proto naše navržené zateplení nesplní normu ČSN 73 0540-2.

Celkové množství vody ve vrstvě omítky



Graf 4.4-9: Hmotnostní vlhkost ve vrstvě původní omítky po zateplení

Výsledné hodnoty nestacionárního výpočtu v programu Wufi

Dutinové zdivo tl. 450 + Aerogel Spaceloft tl. 20 mm

Tabulka 4.4-3: Vypočtené hodnoty hmotností vlhkost zatepleného dutinového zdiva

Vrstva	Hodnota	Start výpočtu	Konec výpočtu	Min.	Max.
Omítka tl. 20 mm	Kg/m ³	40	38,03	25,51	88,15
Dutinové zdivo tl. 450mm	Kg/m ³	7,8	5,83	5,64	8,06
Omítka tl. 20 mm	Kg/m ³	40	34,59	32,34	40
Spaceloft tl. 20mm	Kg/m ³	3,67	2,5	1,72	3,67
Omítka KP tl. 10mm	Kg/m ³	18,67	10,27	5,98	18,67
Celkové množství vody	Kg/m ²	5,37	4,23	3,9	5,91

Stěna z CPP tl. 450 + Calsitherm tl. 50 mm

Tabulka 4.4-4: Vypočtené hodnoty hmotností vlhkost zatepleného zdiva z CPP tl. 450 mm

Vrstva	Hodnota	Start výpočtu	Konec výpočtu	Min.	Max.
Omítka tl. 20 mm	Kg/m ³	40	37,20	26,57	84,79
Dutinové zdivo tl. 450mm	Kg/m ³	10,93	9,05	8,87	11,47
Omítka tl. 20 mm	Kg/m ³	40	37,31	36,15	42,27
Calsitherm tl. 50 mm	Kg/m ³	18,65	18,15	17,56	18,65
Omítka KP tl. 10mm	Kg/m ³	18,67	10,72	6,58	18,67
Celkové množství vody	Kg/m ²	7,64	6,58	6,27	8,28

Stěna CPP 640 + Calsitherm tl. 50 mm

Tabulka 4.4-5: Vypočtené hodnoty hmotností vlhkost zatepleného zdiva z CPP tl. 640 mm

Vrstva	Hodnota	Start výpočtu	Konec výpočtu	Min.	Max.
Omítka tl. 20 mm	Kg/m ³	40,00	37,21	26,53	84,93
Dutinové zdivo tl. 450mm	Kg/m ³	10,93	9,01	8,89	11,15
Omítka tl. 20 mm	Kg/m ³	40,00	36,49	35,26	40,41
Calsitherm tl. 50 mm	Kg/m ³	18,65	18,10	17,37	18,65
Omítka KP tl. 10mm	Kg/m ³	18,67	10,61	6,49	18,67
Celkové množství vody	Kg/m ²	9,71	8,25	7,95	10,29

4.4.3 Posouzení neprůběžného zateplení ve 3D

V této podkapitole zjistíme vliv neprůběžného zateplení na vnitřní povrchovou teplotu, tepelný tok a vlhkost u 3D detailů.

a) Detail A - Arkýř a balkónu v úrovni stropu 2. nadzemního podlaží

Povrchové teploty

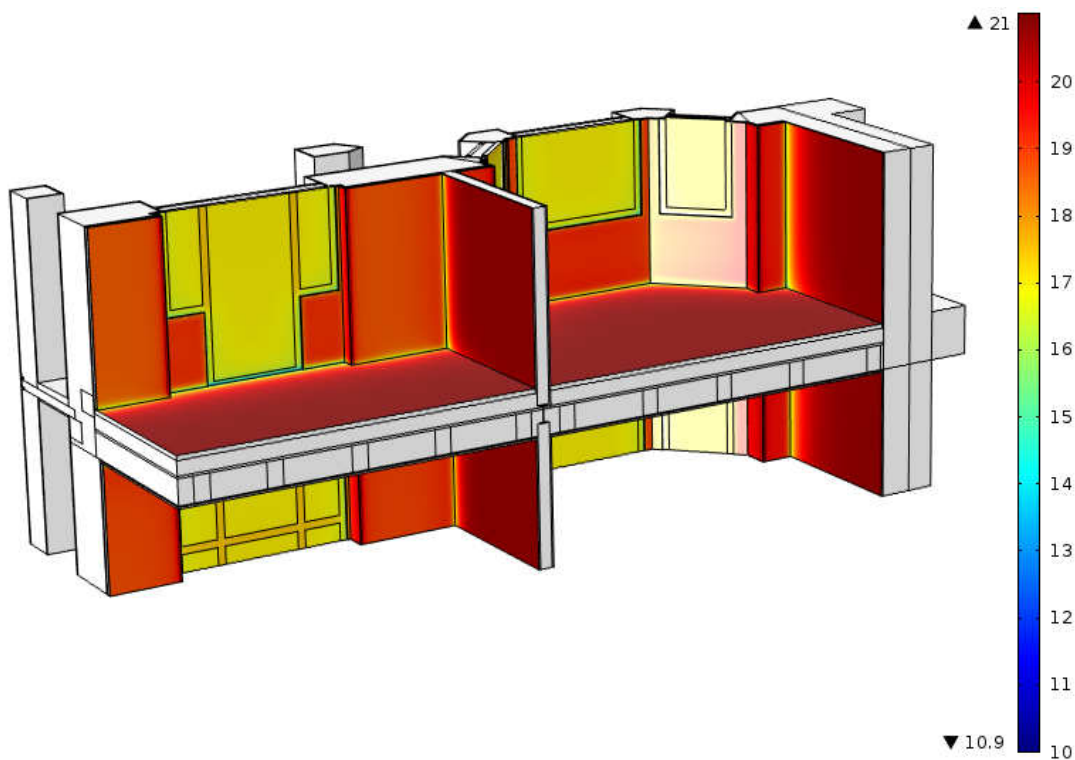
Vnitřní povrchová teplota je důležitým faktorem pro posouzení navrženého zateplení. Dle normy ČSN 730540-2 nesmí povrchová teplota při návrhových podmínkách klesnout pod 12,6 °C.

Navržené vnitřní neprůběžné zateplení zabezpečilo většinu rizikových míst původního stavu. Ve vnitřním rohu arkýřového zdiva je povrchová teplota 18,5 °C. U parapetního zdiva je povrchová teplota 19,1 °C. A v nadpraží balkonových dveří 18,7 °C. Zvýšení povrchové teploty v těchto místech se předpokládalo.

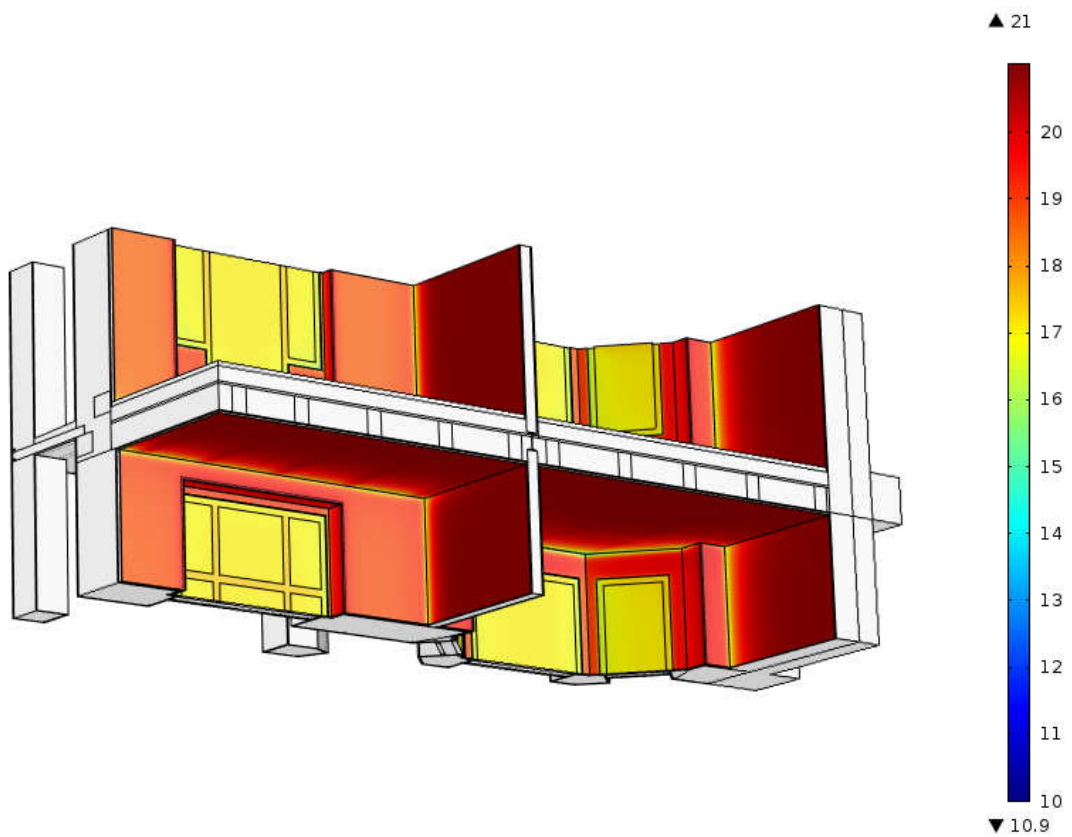
Jak bylo řečeno v kapitole 2.1, vnitřní zateplení má za následek snížení teploty u vnitřního líce původní konstrukce. Důsledek tohoto jevu je větší vliv tepelných mostů v místech napojení příček a stopních konstrukcí na obvodové zdivo. Jak je vidět na

obrázku 4.4-5, v místě napojení příčky na obvodovou stěnu klesne teplota na 15,9 °C. Ostatní povrchové teploty koutových bodů jsou uvedeny v tabulkách 4.4-6 a 4.4-7.

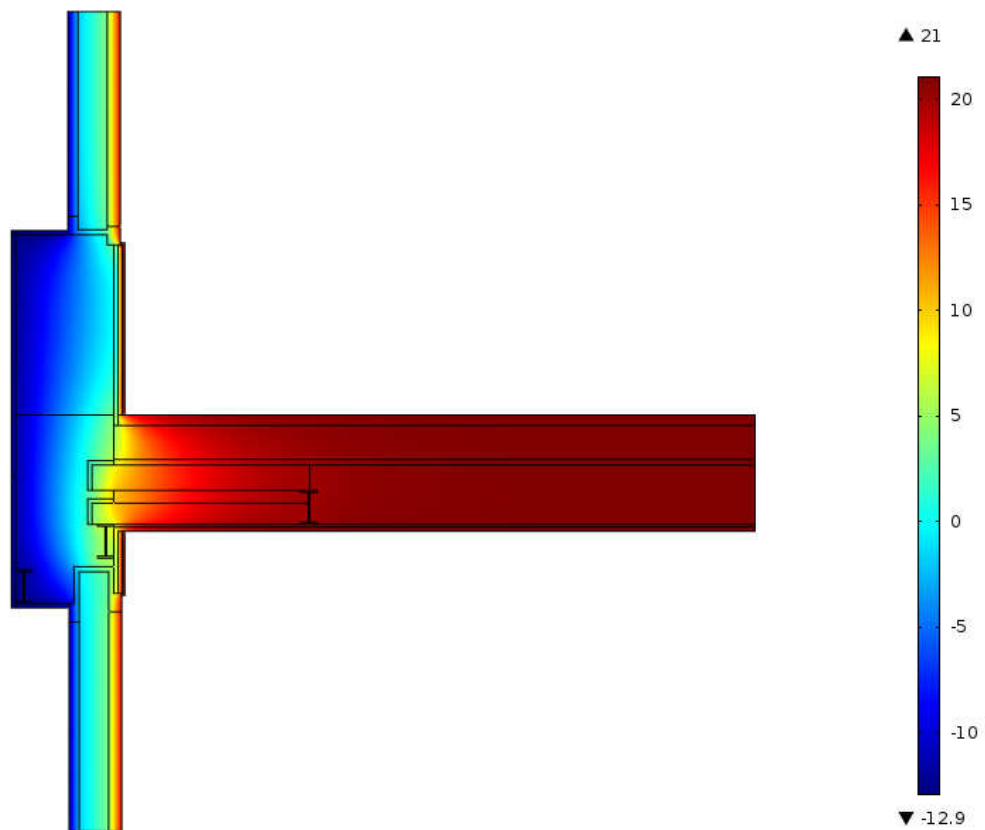
V tomto modelu byly změněny parametry oken. Původní špaletová okna byla nahrazena modernějšími s parametry zasklení $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dřevěný rám je počítán se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$. Vlivem výměny oken se povrchová teplota zasklení zvýšila na 16,8 °C. Na zasklení nebude docházet k povrchové kondenzaci.



Obrázek 4.4-5 : Detail A- Vnitřní povrchová teplota horní pohled

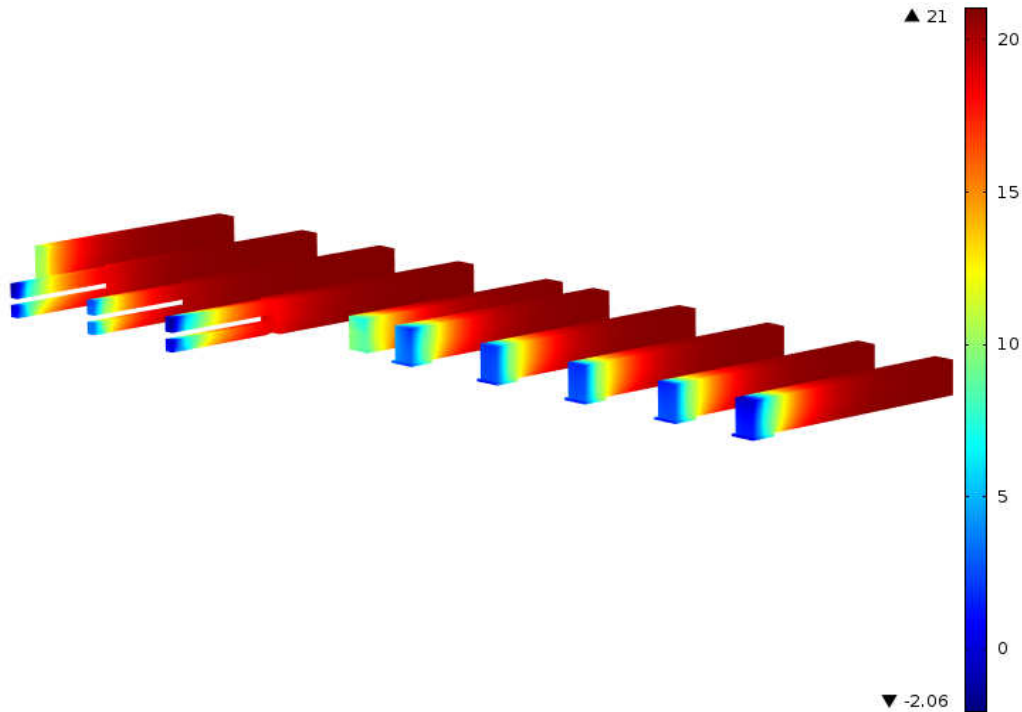


Obrázek 4.4-6: Detail A- Vnitřní povrchové teplota spodní pohled



Obrázek 4.4-7: Detail A: Teplotní pole řez

Po zateplení klesla minimální teplota ve zhlaví trámu z 1,41°C na -2,06°C. Při použití průběžného zateplení můžeme očekávat, že teplota ve zhlaví ještě klesne.

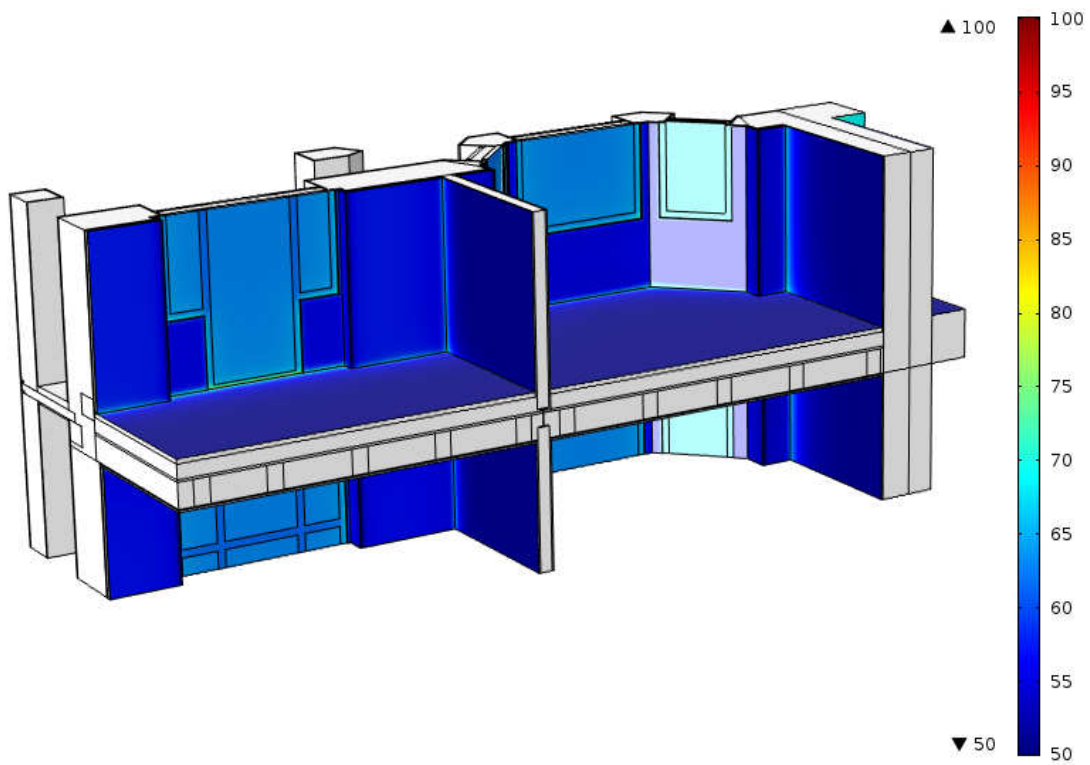


Obrázek 4.4-8: Detail A- Povrchové teplota trámy

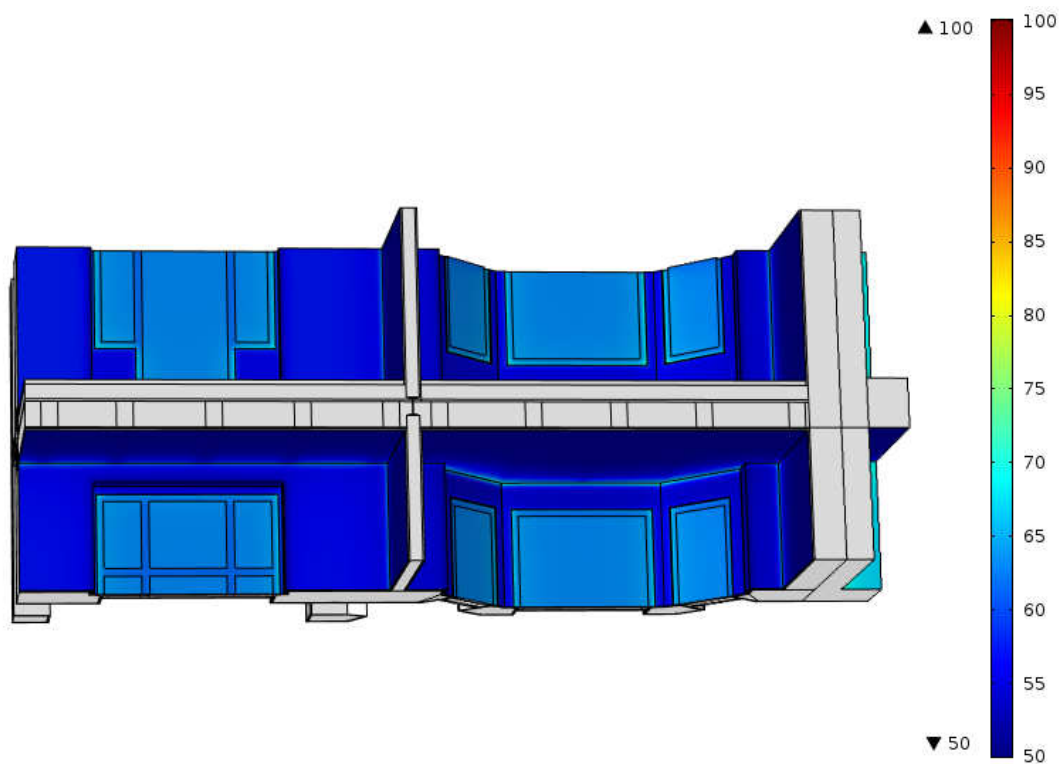
Vlhkost

Vlivem zvýšené povrchové teploty nedochází ke kondenzaci vodní páry na povrchu plošných konstrukcí. Místa ohrožená povrchovou kondenzací jsou napojení příček, vnitřních stěn a stropů na nosnou konstrukci. Největší vypočtená povrchová vlhkost 85,5% je v místě napojení arkýřové stěny se stropem. V tomto místě sice nedochází ke kondenzaci, ale hrozí zde riziko růstu plísní.

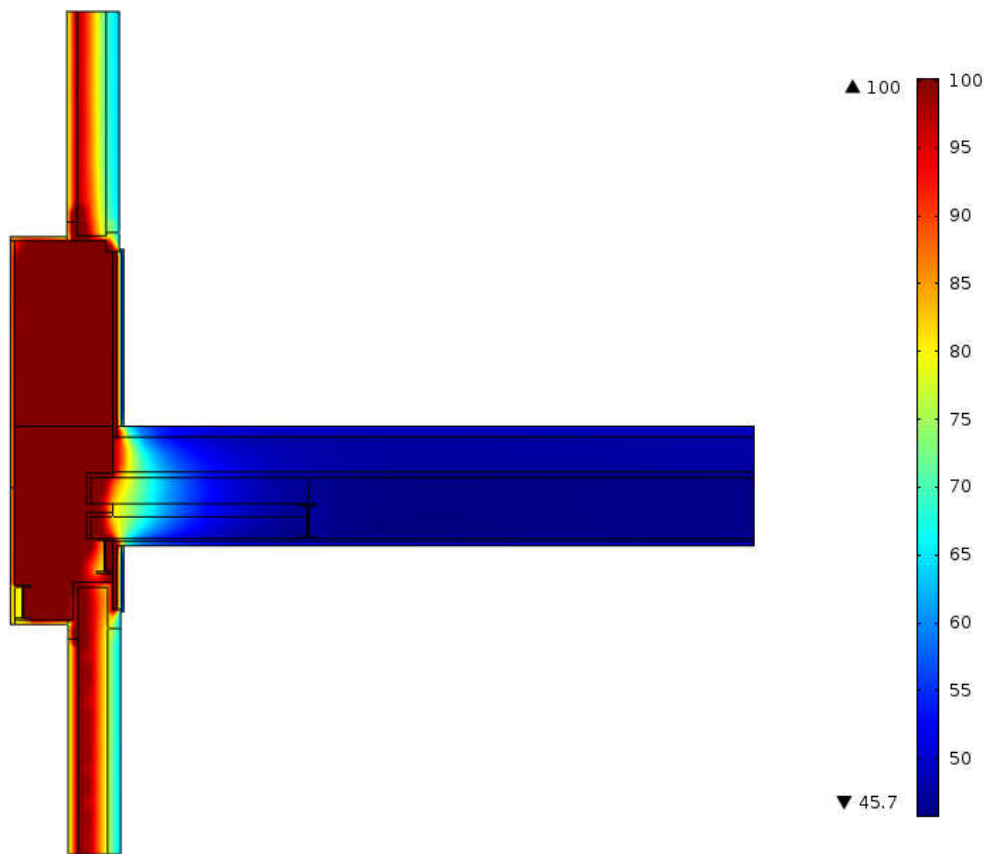
Po zateplení došlo k omezení kondenzace na vnitřním povrchu, ale uvnitř konstrukce došlo k podstatnému zhoršení. Na obrázku 4.4-11 a 4.4-12 vidíme srovnání výpočetních metod. V případě programu COMSOL došlo k výraznému zvětšení zóny z relativní vlhkostí 100% oproti původnímu stavu. V případě detailu v programu Area došlo také k zvětšení kondenzační zóny, ale v místě zhlaví je maximální relativní vlhkost 84,9 %



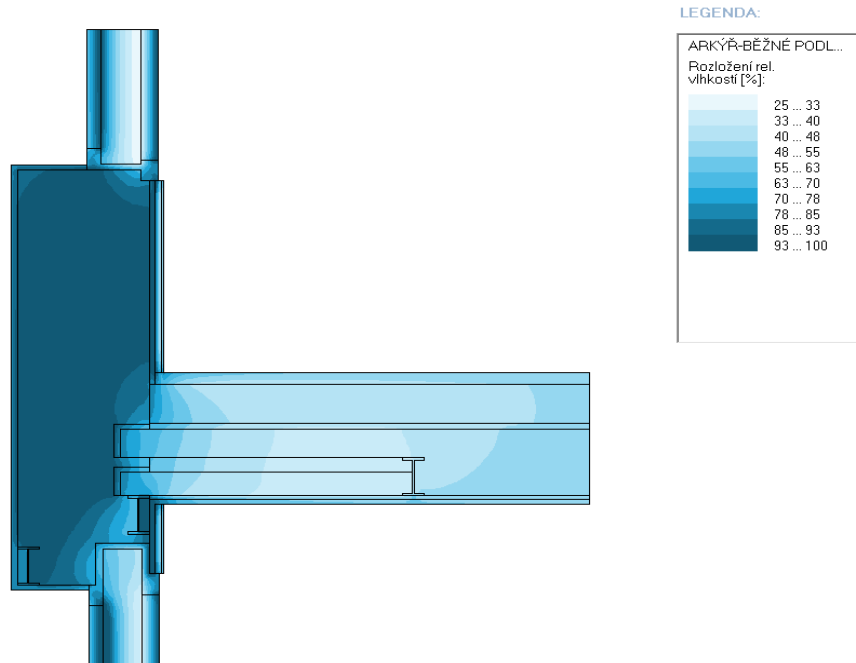
Obrázek 4.4-9: Detail A- Relativní vlhkost horní pohled



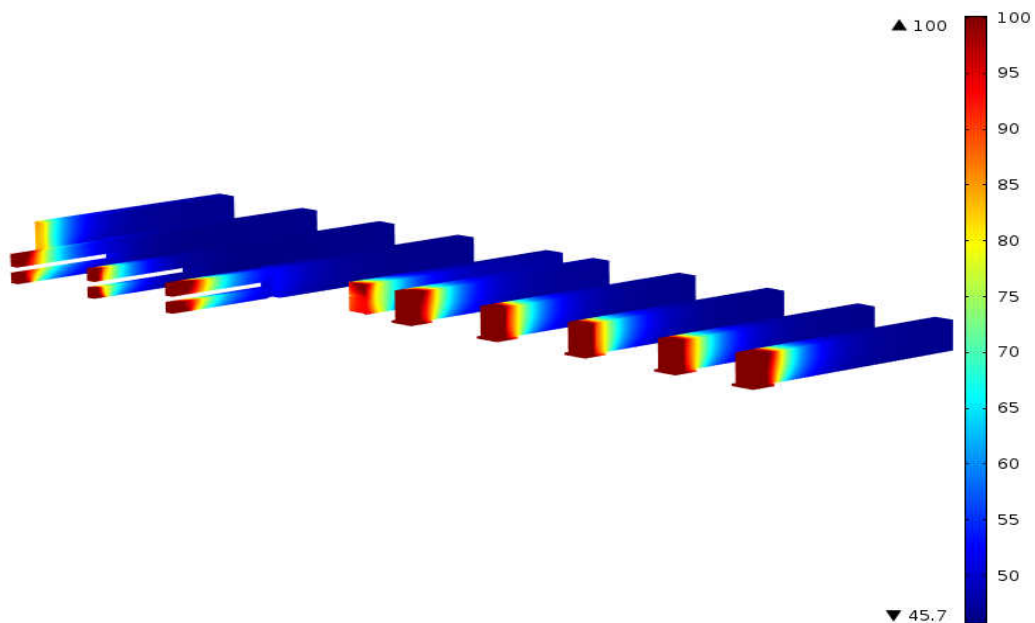
Obrázek 4.4-10: Detail A- Relativní vlhkost spodní pohled



Obrázek 4.4-11: Detail A- Relativní vlhkost řez

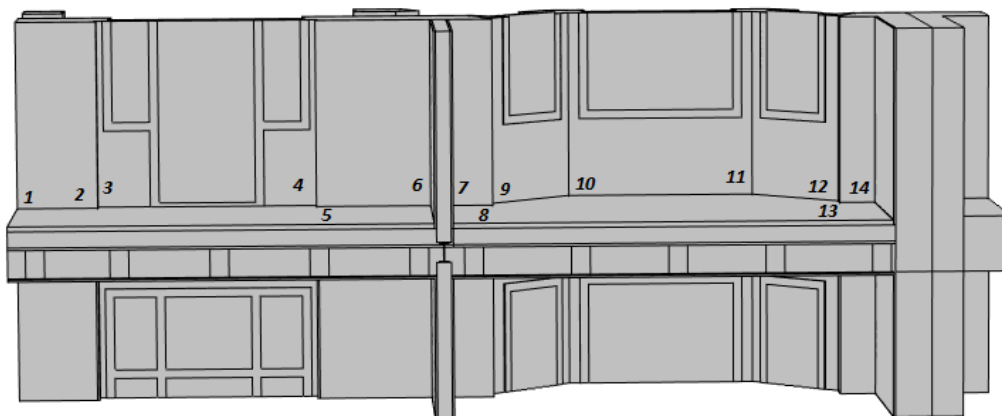


Obrázek 4.4-12: Detail A- Relativní vlhkost řez (Area)



Obrázek 4.4-13 Detail A- Relativní vlhkost trámy

Relativní vlhkost a povrchová teplota v koutových bodech

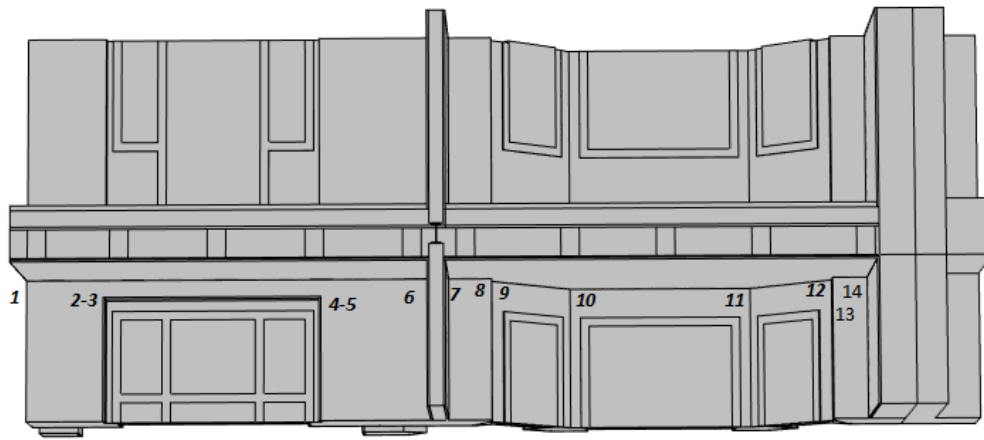


Obrázek 4.4-14: Koutové body- podlaha

Tabulka 4.4-6 Relativní vlhkost a teplota v koutových bodech- podlaha

Bod č.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teplota [°C]	15,29	18,34	12,53	12,56	18,34	14,53	14,56
RH [%]	70,17	58,44	82,78	82,61	58,44	74,73	73,38

Bod č.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Teplota [°C]	19,51	15,69	12,96	12,95	15,84	19,53	14,04
RH [%]	54,54	68,39	80,68	80,54	67,68	54,46	75,54



Obrázek 4.4-15: Koutové body- strop

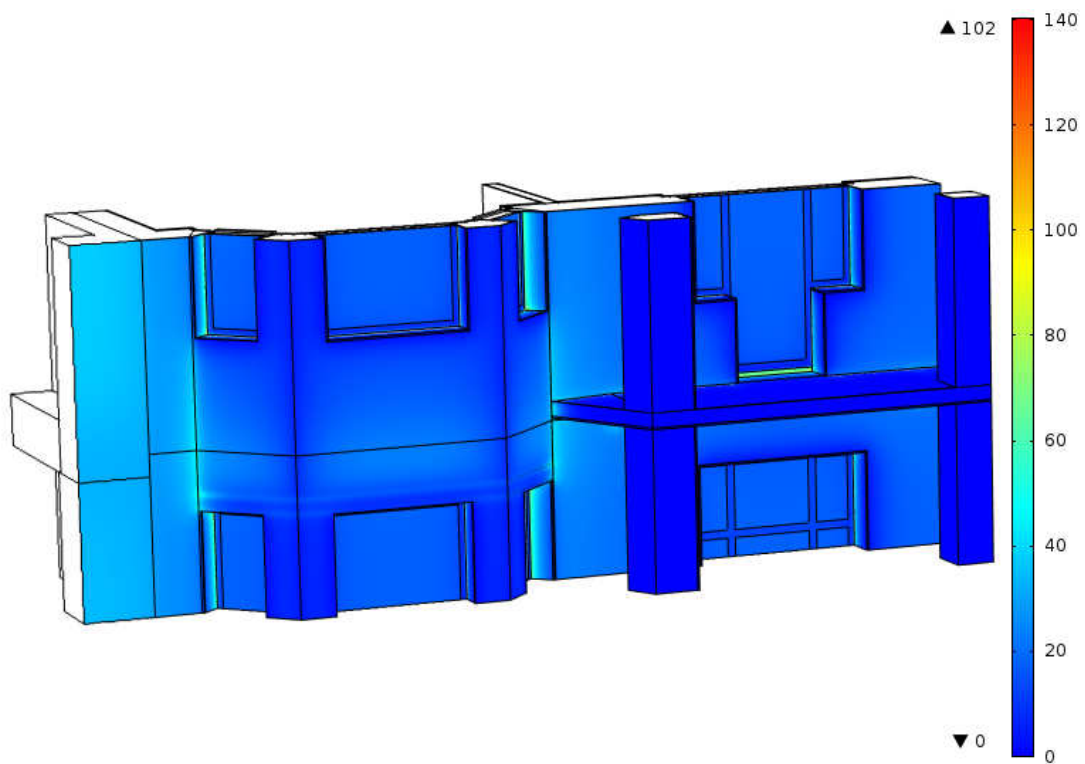
Tabulka 4.4-7: Relativní vlhkost a teplota v koutových bodech- strop

Bod č.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teplota [°C]	15,31	20,34	17,72	17,75	20,34	15,57	15,83
RH [%]	70,02	51,96	60,14	60,04	51,94	68,82	67,72

Bod č.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Teplota [°C]	19,12	14,51	11,85	11,86	14,63	19,11	15,53
RH [%]	55,79	73,49	86,67	86,59	72,98	55,84	68,95

Tepelný tok

Z obrázku xx je jasně patrné výrazné snížení tepelného toku přes prosklení z 90-105 W/m² na 30 W/m². U arkýřového zdiva se snížil tepelný tok z 31,8 W/m² na 16,8 W/m² a u obvodového zdiva z 32,3 W/m² na 17,5 W/m². Celkový tepelný tok obvodovým zdivem je 708,9 W a prosklením 322,5 W. Celková tepelná ztráta detailem je 1031,4 W.



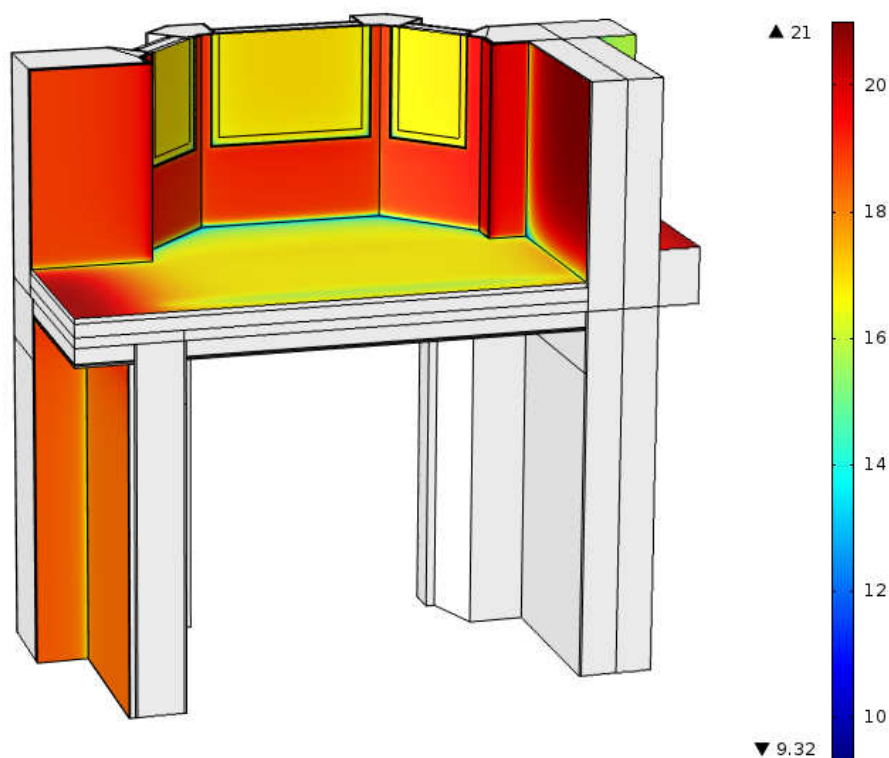
Obrázek 4.4-16: Detail A- Tepelný tok exteriér

b) Detail B - Arkýř nad vjezdovou bránou

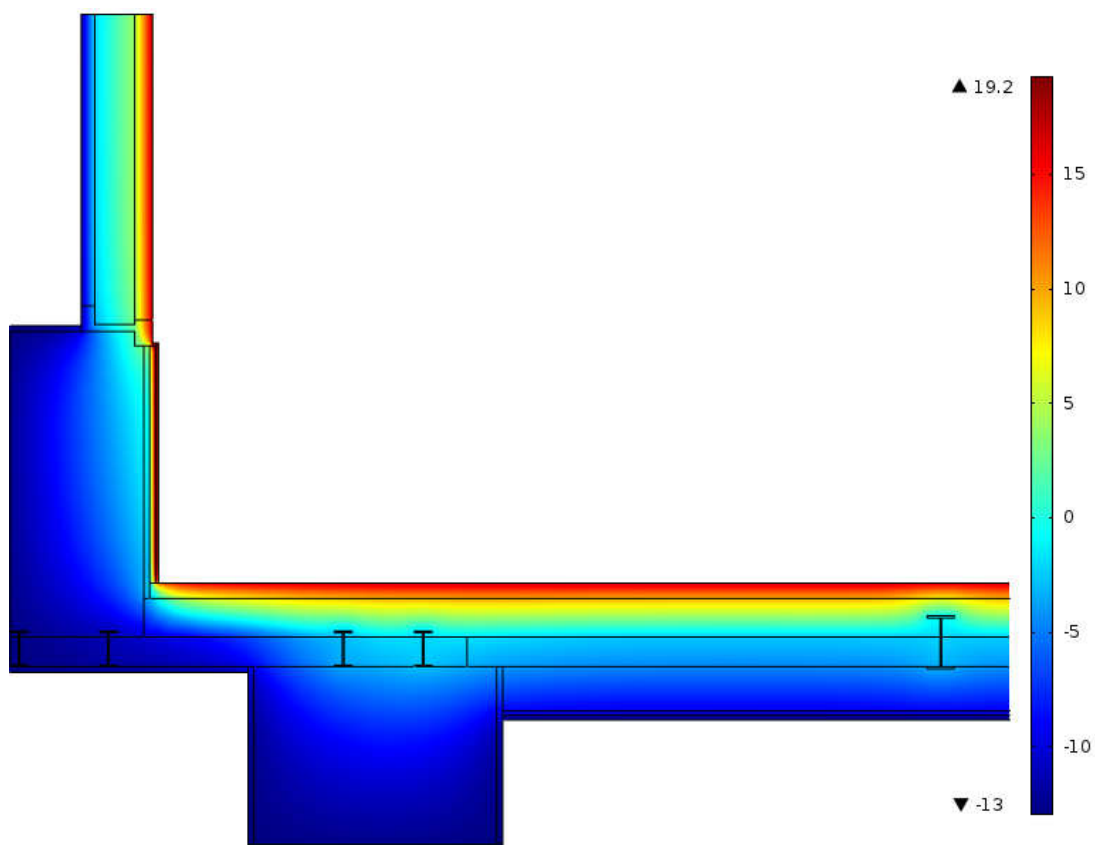
Povrchové teploty

Po zateplení stěn a výměně oken teploty na těchto površích stouply. Na stěnách arkýře je povrchová teplota 19,03°C. Povrchy okenních otvorů mají teplotu 16,9°C a povrch obvodového nosného zdiva má teplotu 18,9°C. Všechny povrchové teploty zateplených konstrukcí mají vyšší teplotu než 12,6°C a splňují normový požadavek. Teploty v koutových bodech jsou uvedeny v tabulce 4.4-8.

Skladba podlahy nad vjezdem zůstala stejná jako v původním stavu. I přes zachování původní skladby podlahy je povrchová teplota podlahy uprostřed místnosti je 16,7 °C.



Obrázek 4.4-17: Detail B- Povrchová teplota interiér

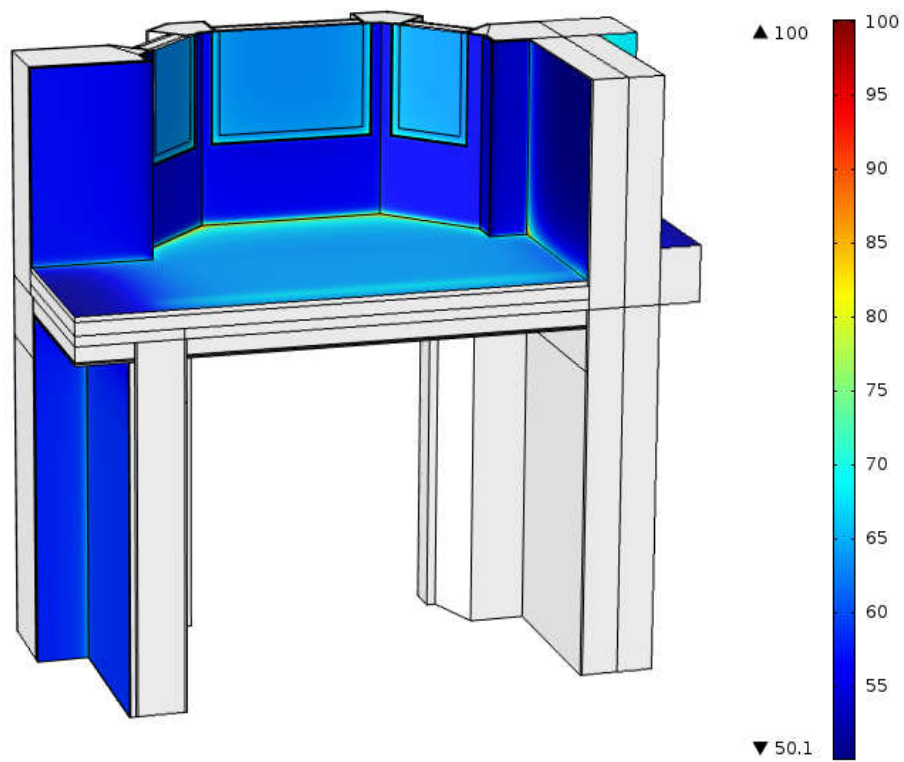


Obrázek 4.4-18: Detail B- Pole teplot řez

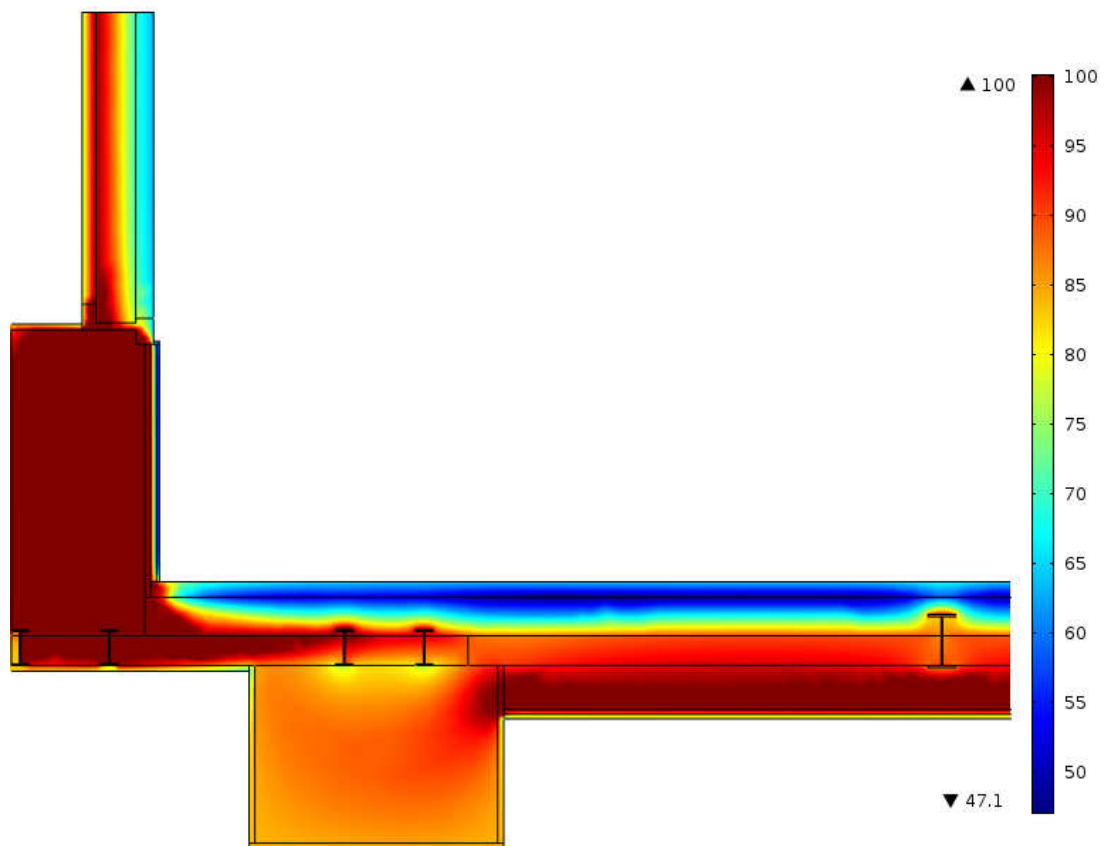
Vlhkost

Zvýšením povrchových teplot na obvodových stěnách a oknech se výrazně zmenšily plochy s povrchovou kondenzací vodní páry. Místem, kde hrozí pořád hrozí povrchová kondenzace je napojení podlahy na arkýřové zdivo a napojení obvodového zdiva a vnitřního zdiva. V těchto místech dosahuje relativní vlhkost až 98%.

V řezu arkýřem na obrázku 4.4-20 nastalo zvýšení oblasti s relativní vlhkostí 100% především v arkýřovém zdivu, kde se tato oblast vlivem snížení teploty ve zdivu dostává až k rozhraní staré omítky a vrstvy tepelné izolace.

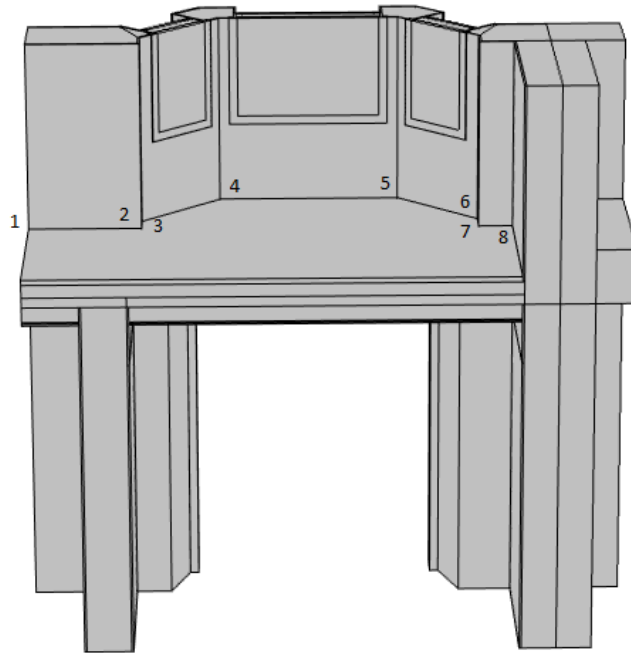


Obrázek 4.4-19: Detail B- Relativní vlhkost interiér



Obrázek 4.4-20: Detail B- Relativní vlhkost řez

Jak je patrné z tabulky 4.4-8, teploty v koutových bodech se zvýšily oproti případu bez zateplení, ale pořád klesají pod požadovaných 12,6°C. V bodě 8. po zateplení klesla povrchová teplota z 10,5°C na 9,32°C.



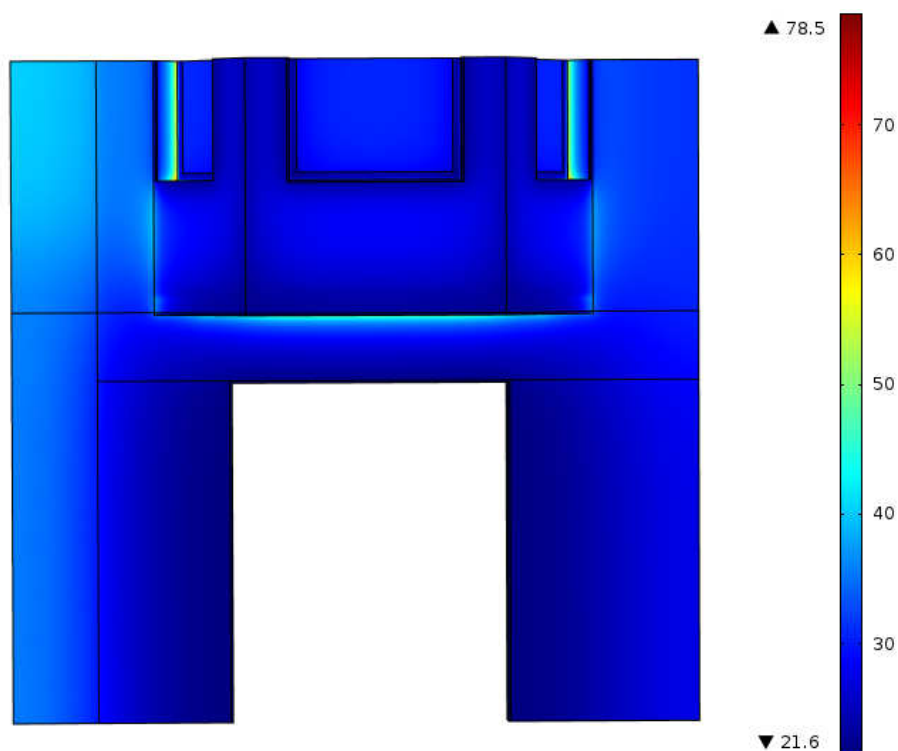
Obrázek 4.4-21: Detail B- Koutové body

Tabulka 4.4-8: Detail B- Koutové body

Bod	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Teplota [°C]	15,97	17,01	12,35	9,96	9,9	12,41	16,24	9,32
RH [%]	67,32	63,26	83,84	97,19	97,48	83,44	66,25	100

Tepelný tok

Stejně jako v předchozím detailu byla největší změna tepleného toku u prosklení, kde je hodnota po výměně oken $30,5 \text{ W/m}^2$. Zateplením teplený tok přes obvodové stěny klesl na $12,7 \text{ W/m}^2$.



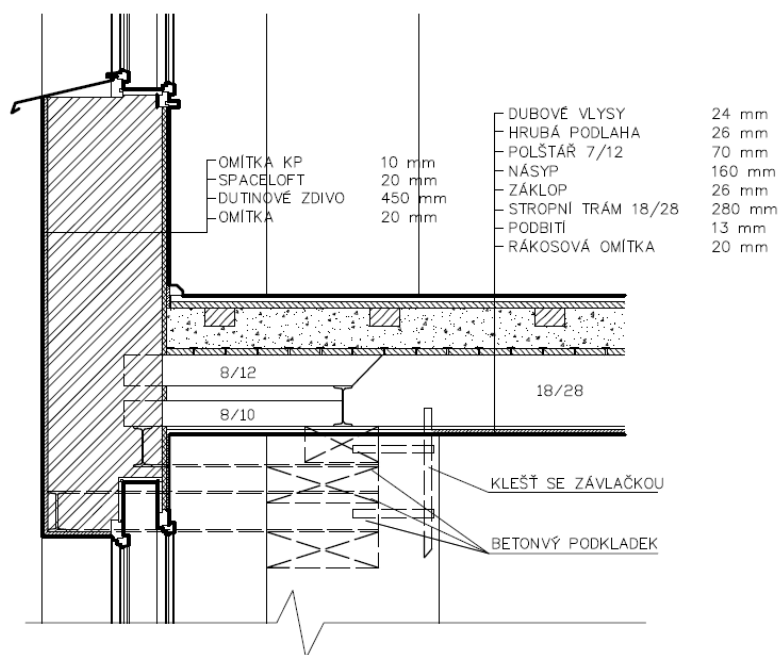
Obrázek 4.4-22:Detail B- Teplený tok exteriér

Celkový tepelný tok přes obvodové konstrukce je $1014,1$ a přes okenní otvory $89,9$. Celková tepelná ztráta je 1104 W . Před zateplením byla ztráta $1617,3 \text{ W}$.

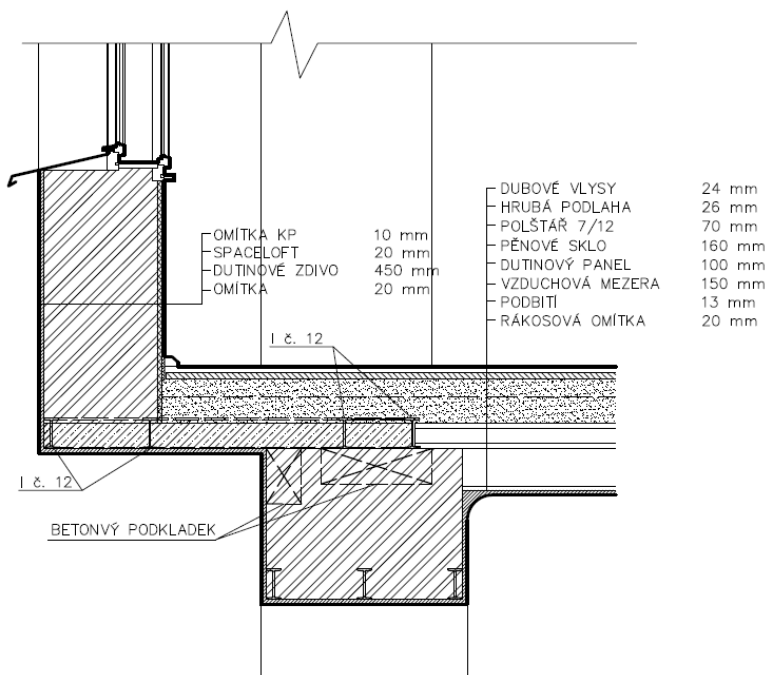
4.5 Varianta II - Průběžné zateplení

4.5.1 Konstrukční řešení

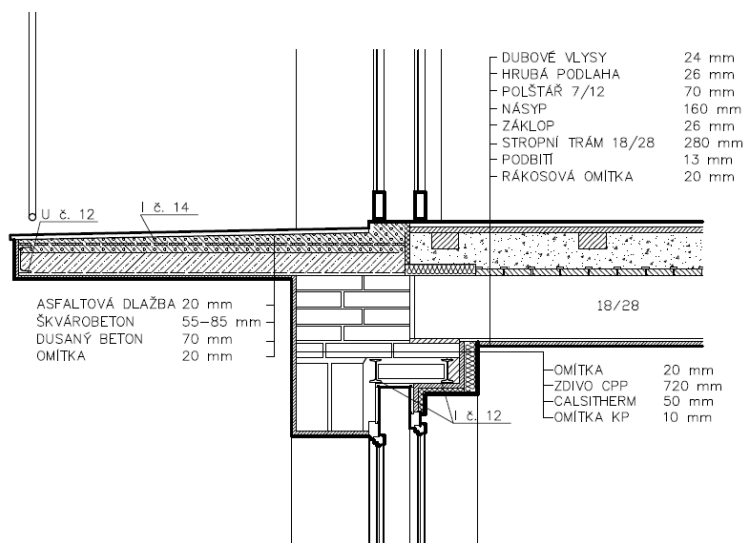
V této variantě zateplení bude tepelná izolace procházet skrz stropní konstrukce. Tento způsob vyžaduje větší zásah do stávajících konstrukcí. Je nutné demontovat skladbu podlah a podbití s omítkou. Jedinou konstrukcí procházející vrstvou tepelné izolace jsou stropní trámy. Toto řešení umožňuje provedení celistvější tepelně izolační obálky. Další změnou oproti předchozí variantě bude vyměnění škvárového záspy za pěnové sklo u detailu vchodu.



Obrázek 4.5-1: Detail arkýře běžného podlaží- Varianta II



Obrázek 4.5-2: Detail arkýře nad vjezdem- Varianta II



Obrázek 4.5-3: Detail balkónu- Varianta II

4.5.2 Posouzení plošných konstrukcí

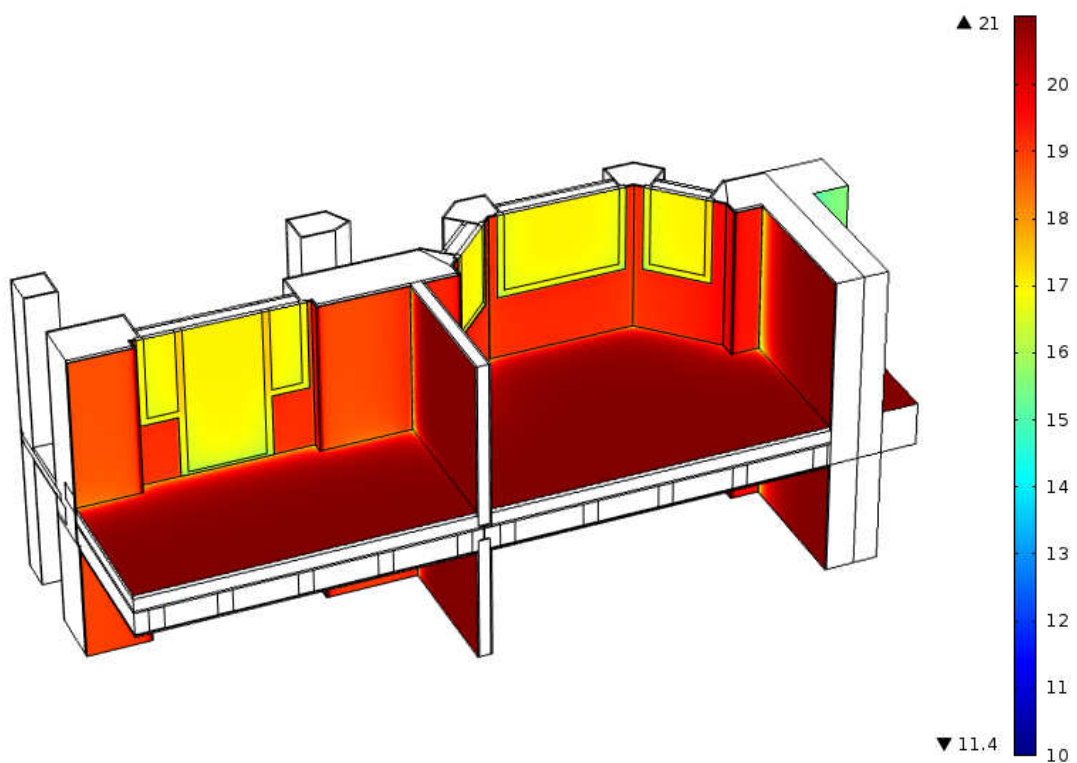
Plošné konstrukce zůstávají stejné jako ve variantě 4.1. Jediná změna je osekání staré omítky pro vytvoření jednotného podkladu přes celá patra. Z tohoto důvodu nebudou v této kapitole znovu posuzovány.

4.5.3 Posouzení průběžného zateplení ve 3D

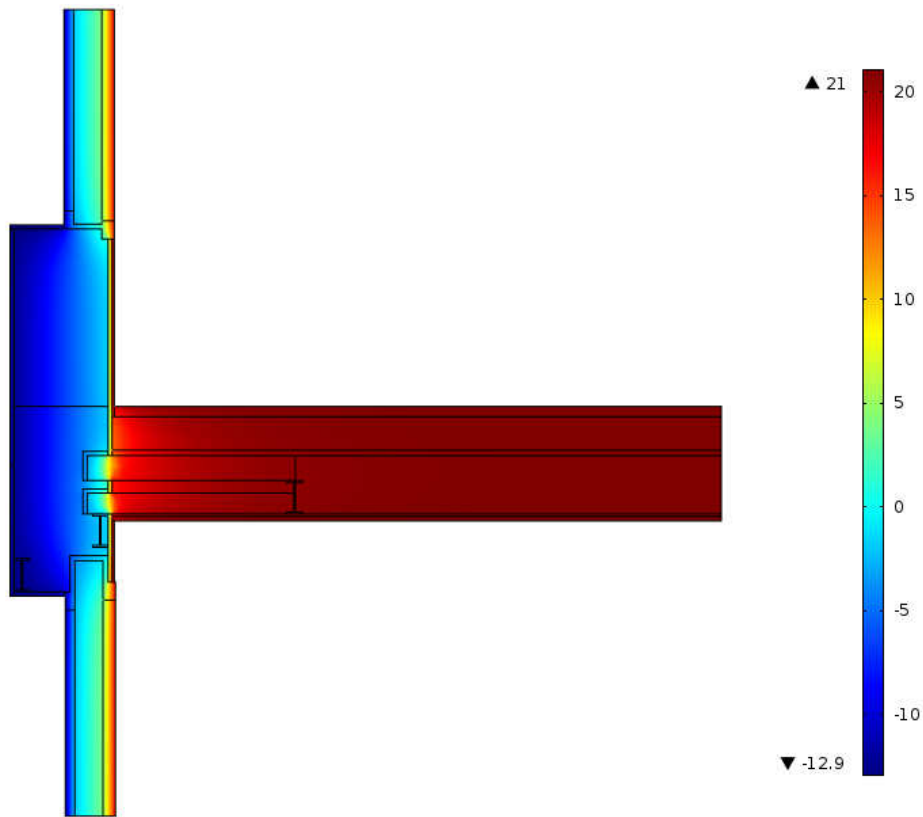
a) Detail A - Arkýř a balkónu v úrovni stropu 2. nadzemního podlaží

Povrchová teplota

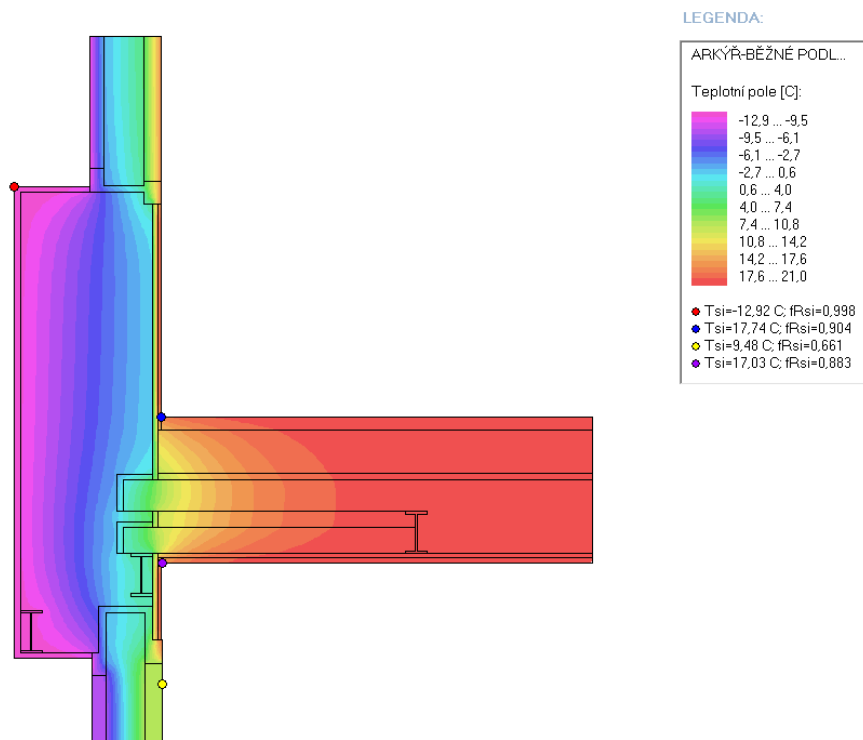
Povrchová teplota plošných konstrukcí vychází stejně jako v případě neprůběžného zateplení. Vliv průběžného zateplení se u povrchových teplot projeví především v místech napojení podlahy nebo stropu na obvodové konstrukce. V tabulkách 4.5-1 a 4.5-2 vidíme, že teploty v koutových bodech jsou vyšší než 12,6 °C.



Obrázek 4.5-4: Detail A- Vnitřní povrchová teplota

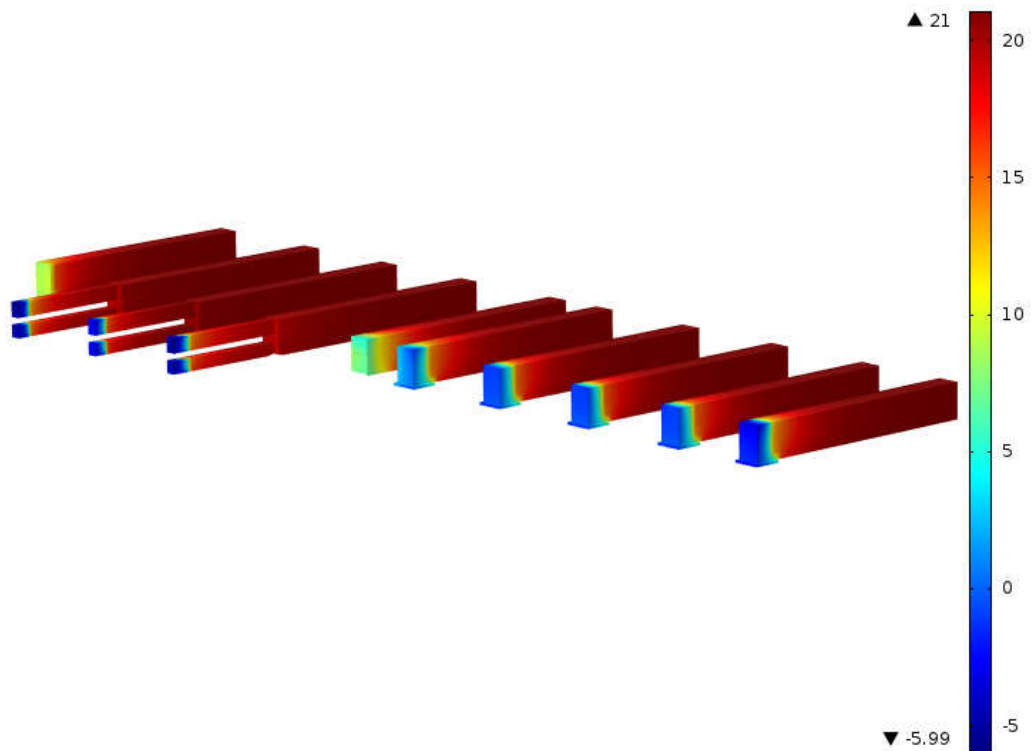


Obrázek 4.5-5:Detail A- Teplotní pole řez



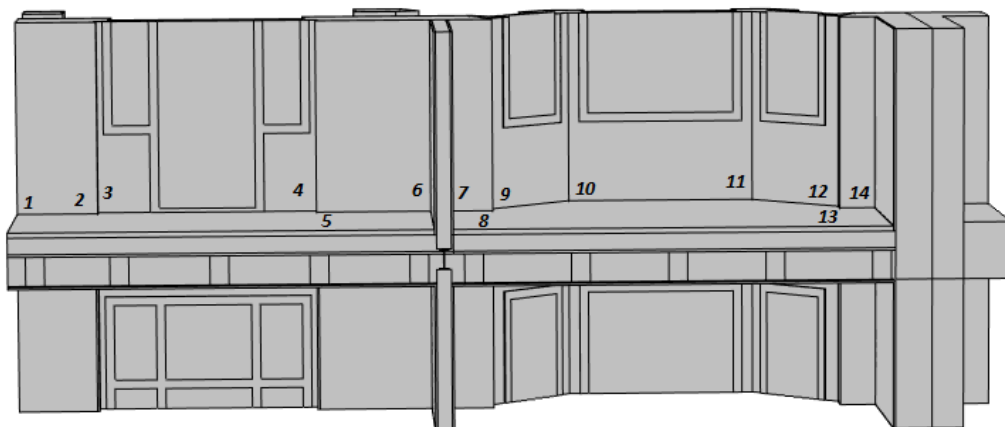
Obrázek 4.5-6: Detail A-Teplotní pole řez (Area)

Problémem průběžného zateplení je výrazné snížení teploty v místě uložení zhlaví trámu. V tomto případě klesne teplota až na $-5,99^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 4.5-7: Detail A- Povrchová teplota trámy

Hodnoty relativní vlhkosti a teploty v koutových bodech

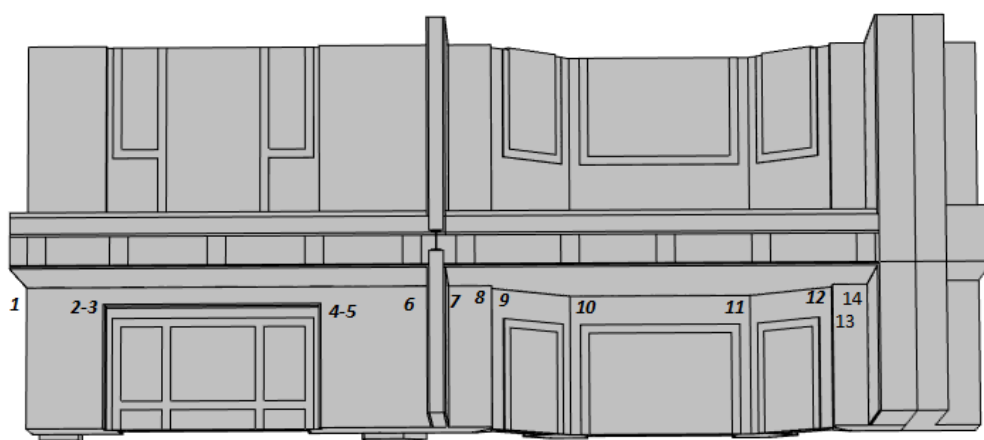


Obrázek 4.5-8: Detail A- Koutové body podlaha

Tabulka 4.5-1:Detail A- Relativní vlhkost a teplota v koutových bodech podlahy

Bod č.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teplota [°C]	16,85	19,22	15,09	15,14	19,21	14,94	15,07
RH [%]	63,77	55,44	70,54	70,27	55,47	71,37	70,85

Bod č.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Teplota [°C]	20,01	17,81	16,36	16,37	17,93	20,02	14,45
RH [%]	52,96	60,09	65,20	65,24	59,65	52,94	73,47



Obrázek 4.5-9:Detail A- Koutové body stropu

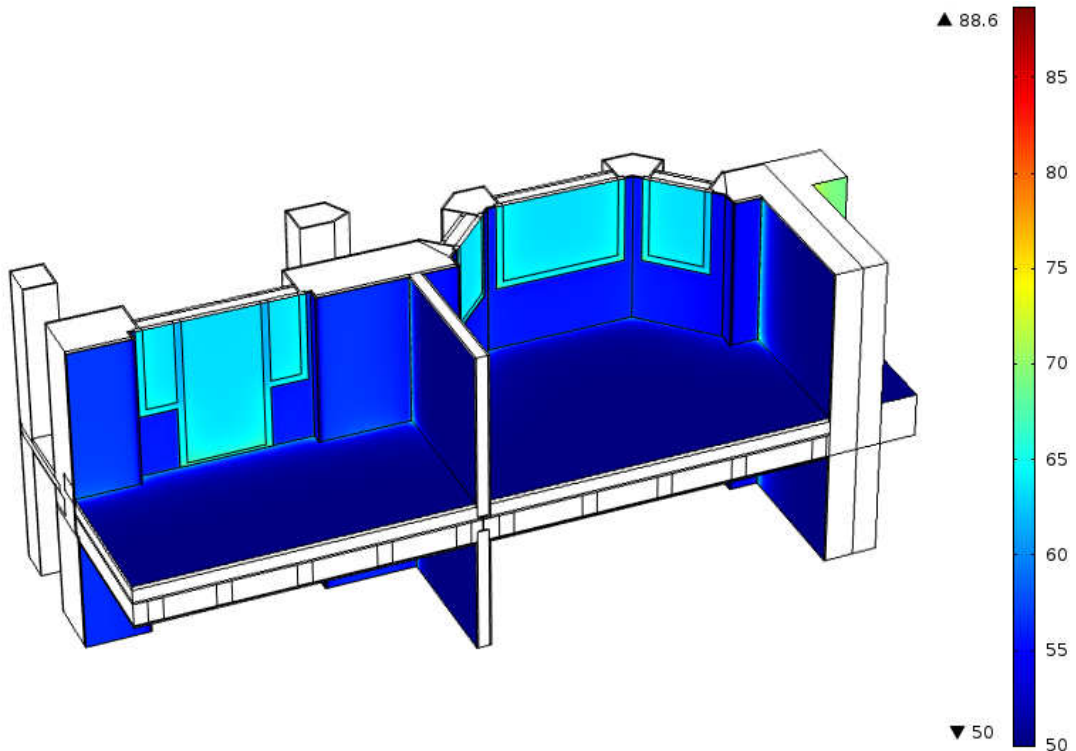
Tabulka 4.5-2: Detail A- Relativní vlhkost a teplota v koutových bodech stropu

Bod č.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Teplota [°C]	18,13	20,76	17,68	17,73	20,77	16,29	16,06
RH [%]	59,08	50,69	60,19	60,09	50,68	65,88	66,75

Bod č.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
Teplota [°C]	19,69	16,41	16,63	16,63	16,52	19,67	15,86
RH [%]	53,96	65,43	64,55	64,53	65,02	54,00	67,55

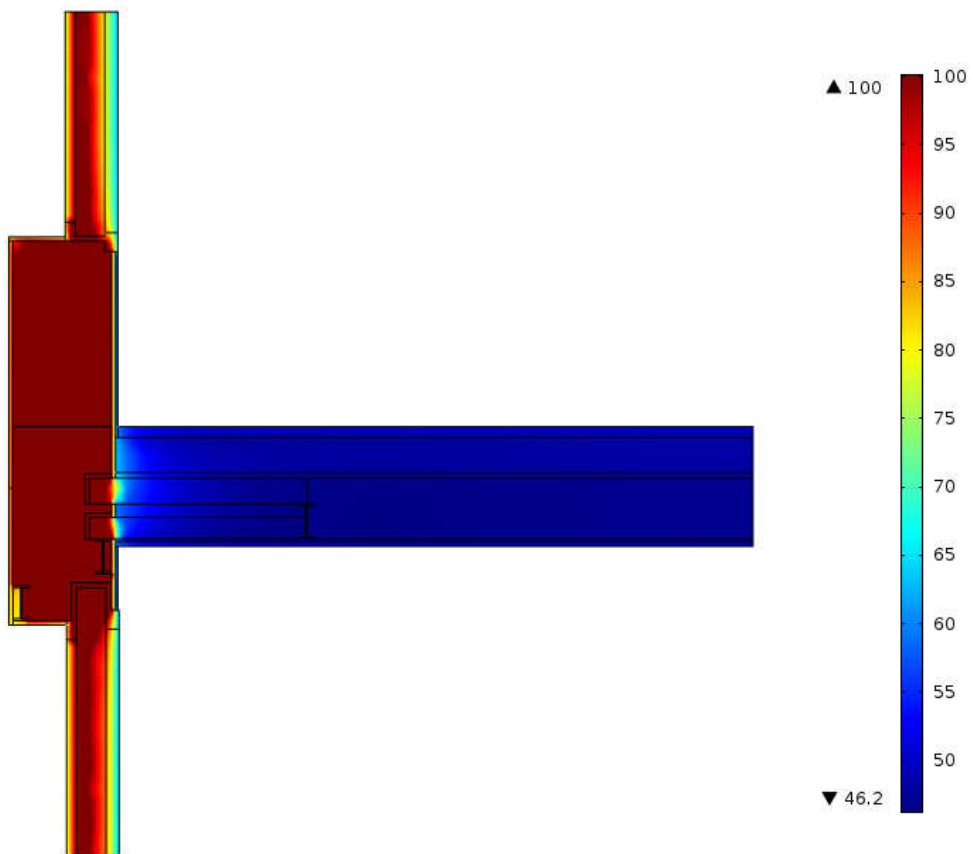
Vlhkost

Po zvýšení povrchových teplot v plošných konstrukcích i v rozích podlahy a stropu nebude v žádném místě detailu docházet k povrchové kondenzaci ani riziku tvorby plísní. Nejvyšší relativní vlhkost na povrchu je v místě napojení obvodové stěny na vnitřní s hodnotou 73,2%

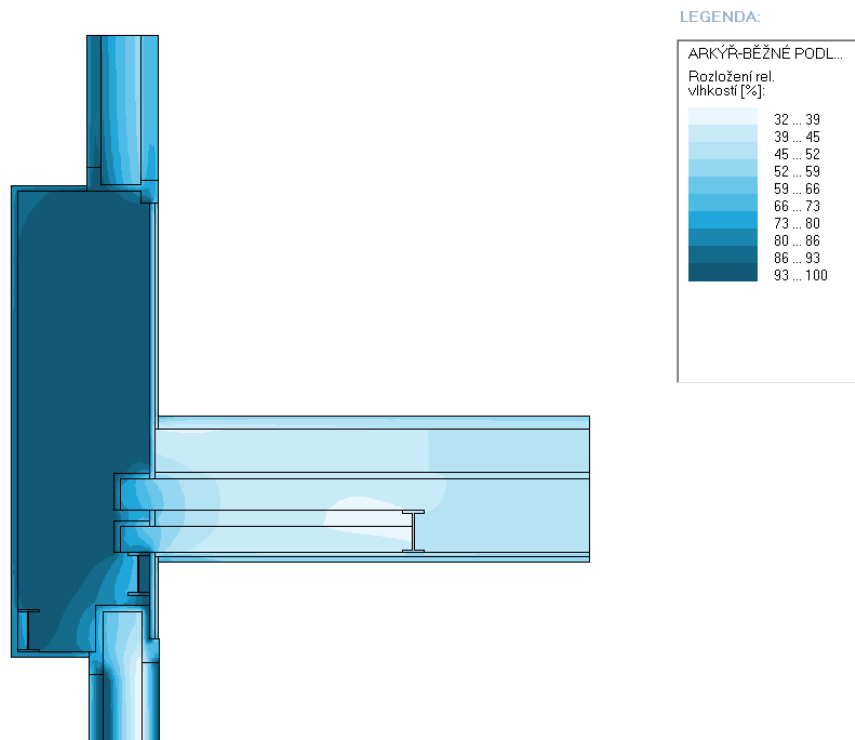


Obrázek 4.5-10: Detail A- Relativní vlhkost interiér

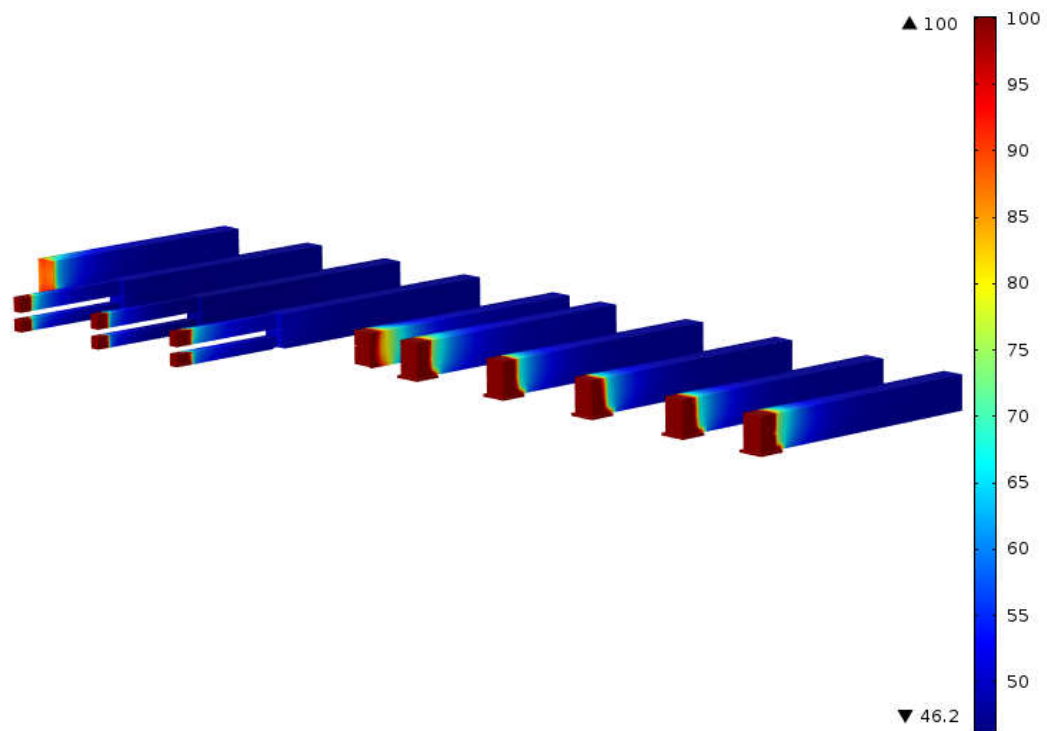
Při srovnání rozložení relativní vlhkosti v detailu arkýře vypočítaným na obrázku 4.5-11 pomocí programu Comsol a na obrázku 4.5-12 pomocí programu Area 2014 EDU je jasně patrný rozdíl především v místě zhlaví trámů. Na obrázku 4.5-12 je v celé oblasti zhlaví relativní vlhkost 100 %. Zatímco na obrázku xx se pohybuje relativní vlhkost mezi 72-85,9 %.



Obrázek 4.5-11: Detail A- relativní vlhkost řez



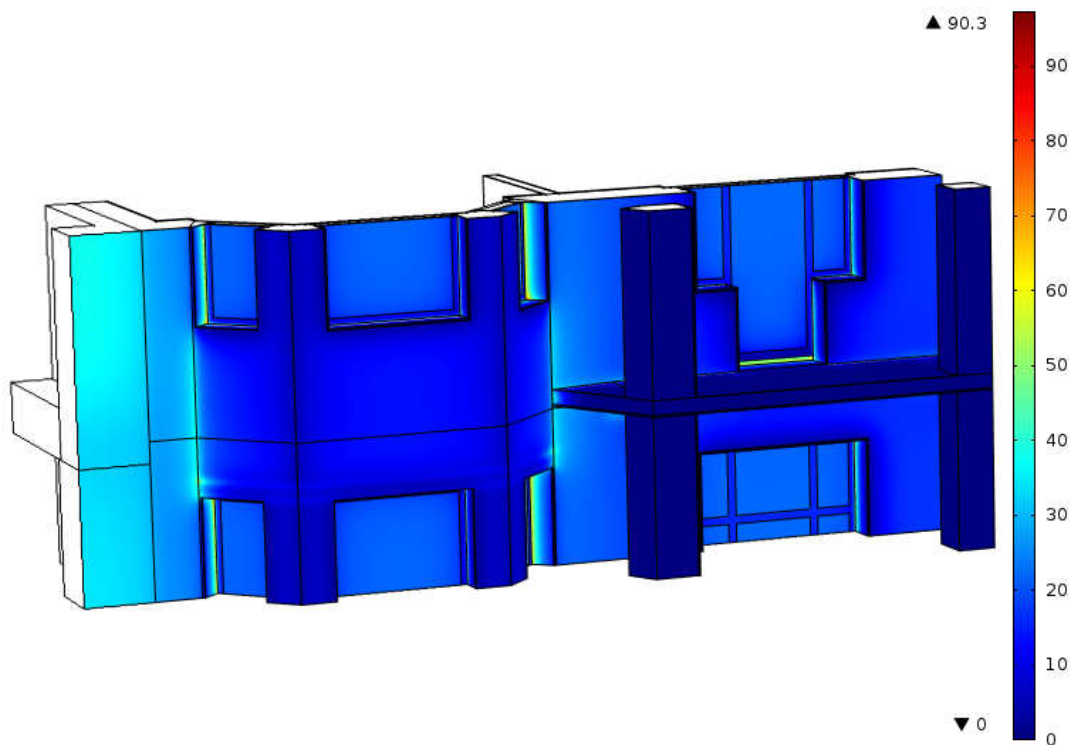
Obrázek 4.5-12:Detail A- Relativní vlhkost řez (Area)



Obrázek 4.5-13:Detail A- Relativní vlhkost trámy

Tepelný tok

Celkový tepelný tok přes obvodové zdivo je 622,54 W a přes okenní otvory 322,5 W.
 Celková tepelná ztráta při průběžném zateplení je 945,04 W.



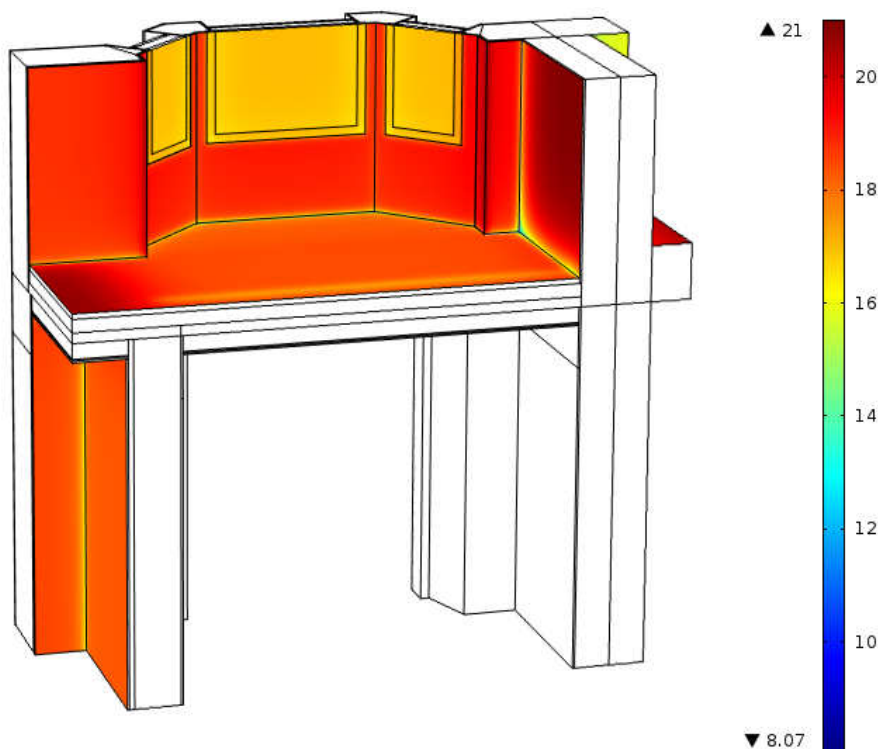
Obrázek 4.5-14:Detail A- Tepelný tok exteriér

b) Detail B - Arkýř nad vjezdovou bránou

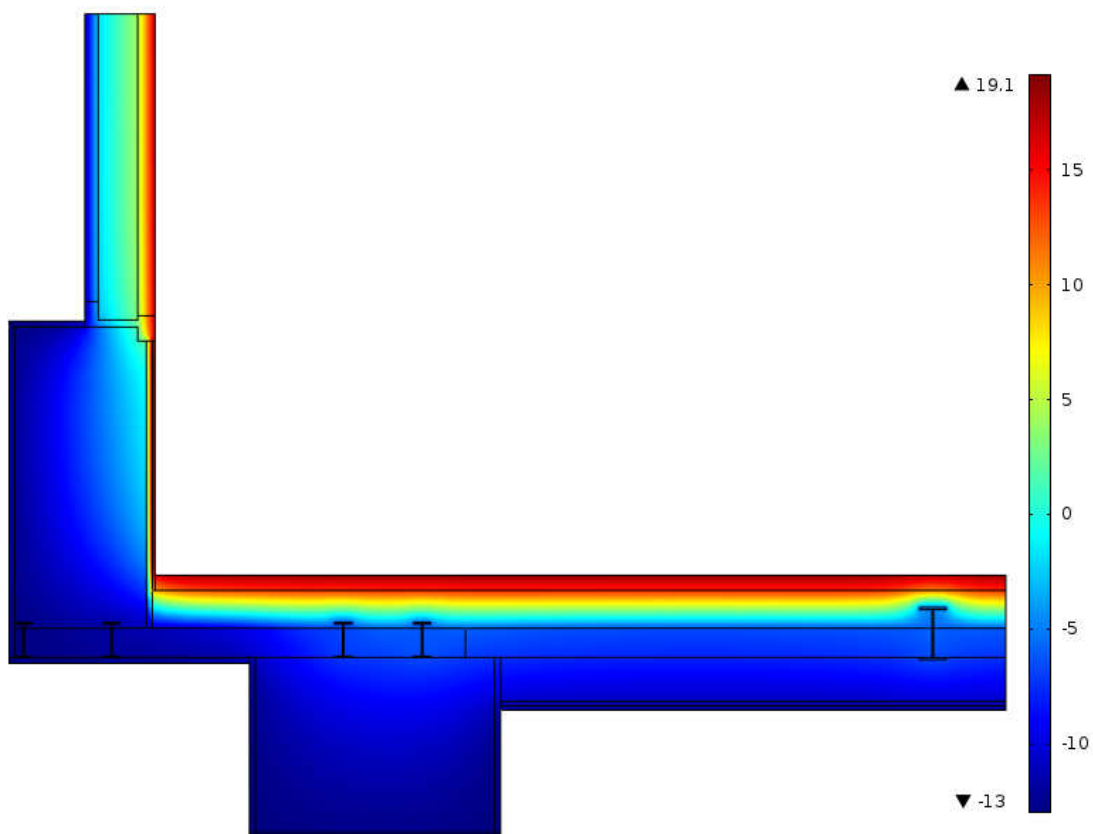
Povrchová teplota

Teploty na povrchu stěn se oproti předchozí variantě výrazně nezměnily. Hlavní změnou oproti předchozí variantě je výměna škvárového zásypu za pěnové sklo a tím zvýšená teplota podlahy, která je uprostřed místnosti 18,41 °C a místě válcovaného I profilu 17,4 °C.

Na stěnách arkýře je povrchová teplota okolo 19°C. Povrchy okenních otvorů mají teplotu 16,9°C a povrch obvodového nosného zdiva má teplotu 18,9°C. Všechny povrchové teploty zateplených konstrukcí mají vyšší teplotu než 12,6°C a splňují normový požadavek.



Obrázek 4.5-15: Detail B- Povrchová teplota interiér

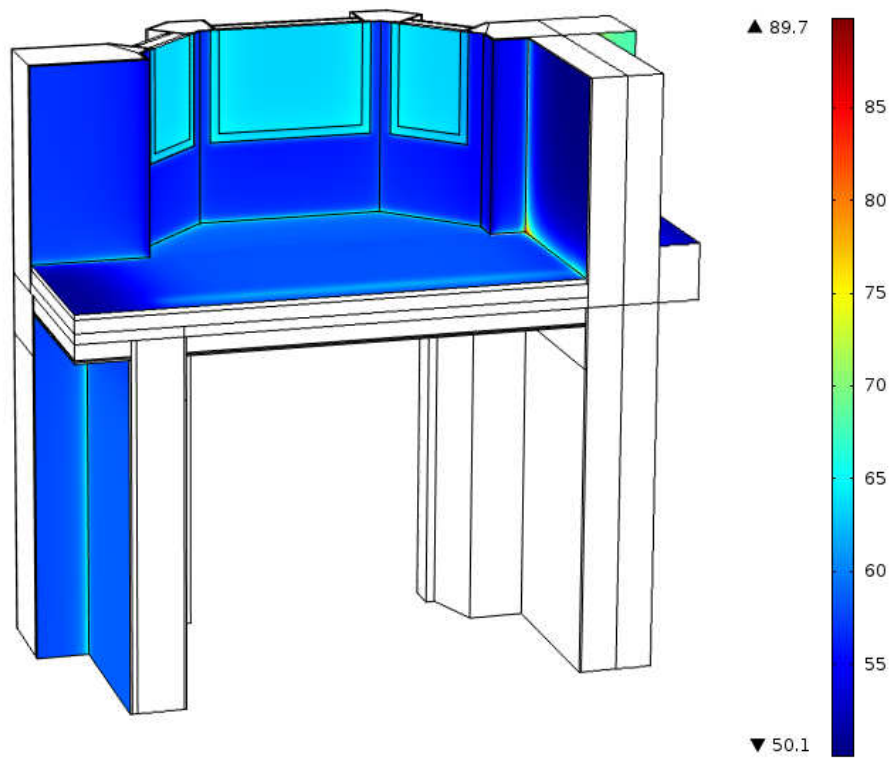


Obrázek 4.5-16: Detail B- Teplotní pole řez

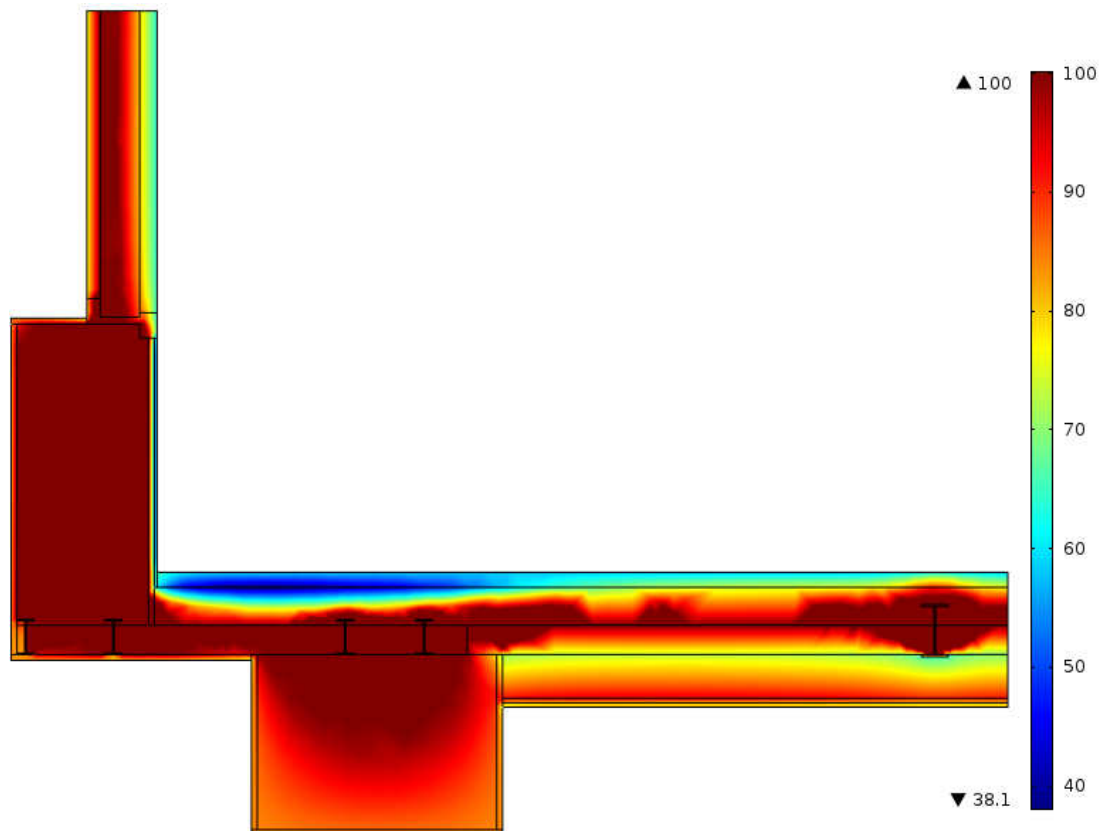
Vlhkost

Povrchová relativní vlhkost na plošných konstrukcích nepřesahuje hodnotu 65%. Jediné problémové místo tohoto detailu je z pohledu povrchové relativní vlhkosti místo styku obvodového zdiva a vnitřního zdiva v úrovni podlahy. V tomto místě je relativní vlhkost 89,71 % a je zde nebezpečí tvorby plísní. Koutové teploty jsou uvedeny v tabulce 4.5-3.

Oblast 100% relativní vlhkosti je v obrázku 4.5-18 pouze ukázková. Ve srovnání s variantou I je však výrazné navýšení relativní vlhkosti především v místech uložení válcovaných I profilů, u kterých došlo vlivem použití pěnového skla ke snížení teploty v okolí a tím pádem umožnění vzniku míst s vysokou relativní vlhkostí.

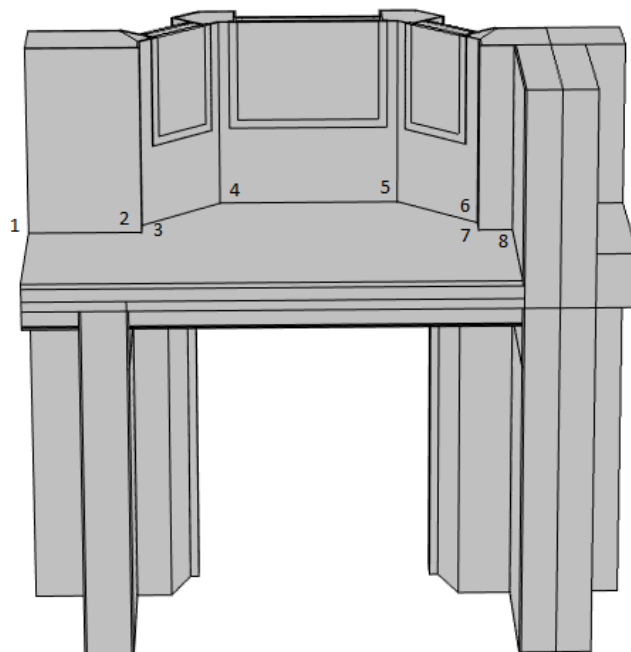


Obrázek 4.5-17: Detail B- Relativní vlhkost interiér



Obrázek 4.5-18: Detail B-Relativní vlhkost řez

Hodnoty relativní vlhkosti a teploty v koutových bodech



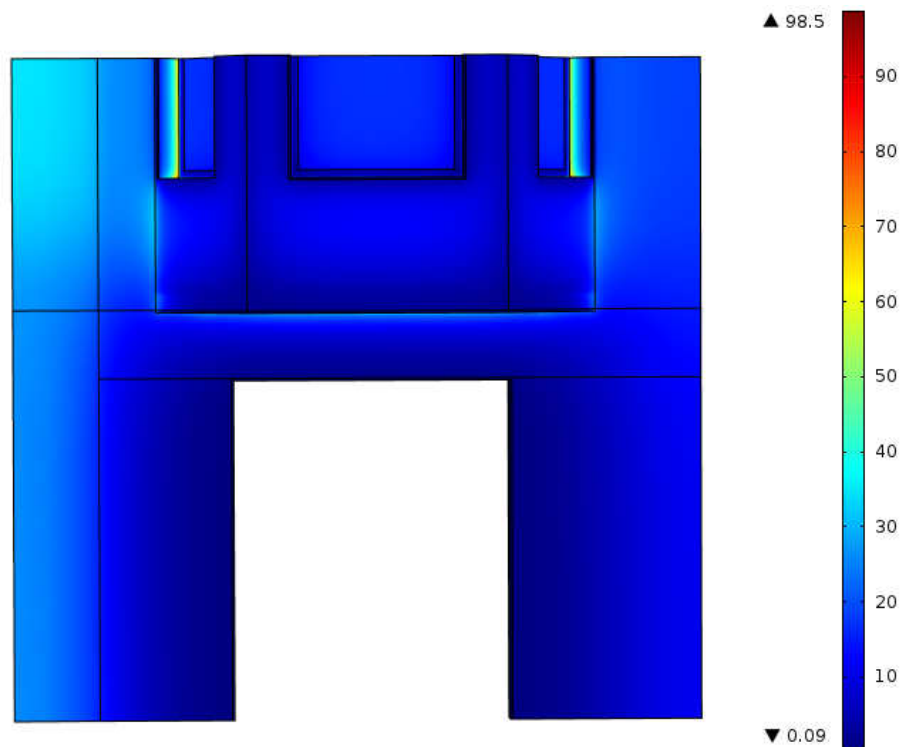
Obrázek 4.5-19: Detail B- Koutové body

Tabulka 4.5-3- Detail B: Koutové body

Bod	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Teplota [°C]	16,83	18,08	15,82	14,73	14,73	15,92	18,11	11,16
RH [%]	63,79	59,24	71,76	71,74	59,20	67,07	59,2	89,71

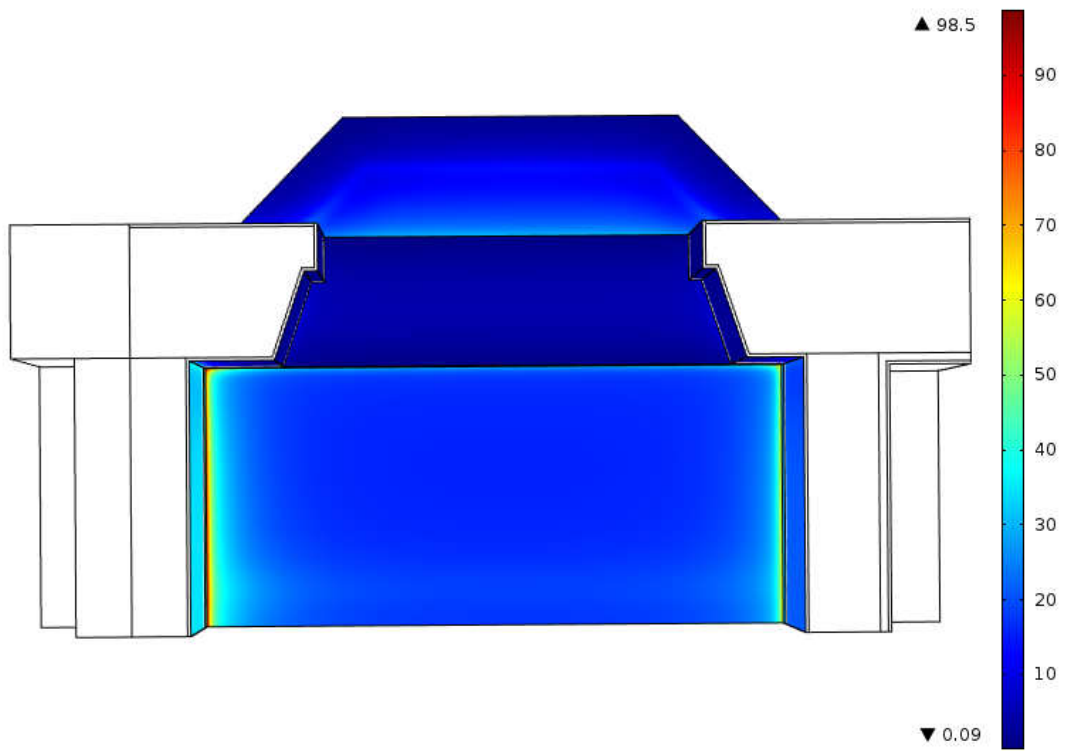
Tepelný tok

Celkový tepelný tok přes obvodové konstrukce je 901,69 a přes okenní otvory 89,9. Celková tepelná ztráta je 1104 W. Před zateplením byla ztráta 991,59 W.



Obrázek 4.5-20: Detail B- Tepelný tok exteriér

Změny v tepelném toku nastaly především přes strop nad vjezdem, kde jak vidíme na obrázku 4.5-21 je tepelný tok ve středu stropu $15,5 \text{ W/m}^2$. Na obrázku je vidět jasný rozdíl mezi pravou stranou, kde je vnitřní strana zateplená a levou stranou, která sousedí s vedlejším objektem, kde není se zateplením uvažováno. V koutu pravé strany je tepelný tok do 60 W/m^2 , zatímco na levé straně ve stejných místech dosahuje hodnoty až $98,5 \text{ W/m}^2$



Obrázek 4.5-21: Detail B- Tepelný tok exteriér spodní pohled

4.6 Srovnání a vyhodnocení variant

4.6.1 Plošné konstrukce

Tabulka 4.6-1- Posouzení plošných konstrukcí- šíření tepla

Konstrukce	Povrchová teplota			Teplotní faktor			Součinitel prostupu tepla		
	T _{si,P} [°C]			f,R _{si,P} [-]			U [W/m ² K]		
	Vypočtená	Pož.		Vypočtená	Pož.		Vypočtená	Pož.	
CP tl. 640 mm + Calsitherm 50 mm	16,71	>	12,6	0,874	>	0,753	0,537	>	0,3
CP tl. 450 mm + Calsitherm 50 mm	16,13	>	12,6	0,857	>	0,753	0,616	>	0,3
Dutinové zdivo tl. 450 mm + Spaceloft 20 mm	17,54	>	12,6	0,898	>	0,753	0,428	>	0,3

Po zateplení plošných konstrukcí jsou splněny požadavky na povrchovou teplotu a teplotní faktor vnitřního povrchu. Požadavky na součinitel prostupu tepla ani jedna konstrukce nesplní.

Tabulka 4.6-2- Posouzení plošných konstrukcí- vlhkost

Konstrukce	Povolené množství zkondenzované vodní páry	Množství zkondenzované vodní páry	Množství vypařitelné vodní páry
	Mc,a [kg/m ² rok]	Mc,a [kg/m ² rok]	Mev,a [kg/m ² rok]
CP tl. 640 mm + Calsitherm 50 mm	0,5	1,1852	6,6387
CP tl. 450 mm + Calsitherm 50 mm	0,5	1,8375	5,9331
Dutinové zdivo tl. 450mm + Spaceloft 20 mm	0,5	3,9839	9,6377

Po zateplení všechny konstrukce přesáhnou povolené množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0,5 \text{ Kg/m}^2\text{rok}$. Výpočtem v programu WUFI 5 bylo dokázáno, že v konstrukci nedochází k trvalému nárůstu vlhkosti. I když maximální hmotnostní vlhkost v původní omítce nepřesáhne 3%, nejsme schopni prokázat, že tato zvýšená vlhkost nebude ohrožovat funkci konstrukce. A proto nesplníme požadavek normy ČSN 75 0540-2 bod 6.3.

4.6.2 3D detaily

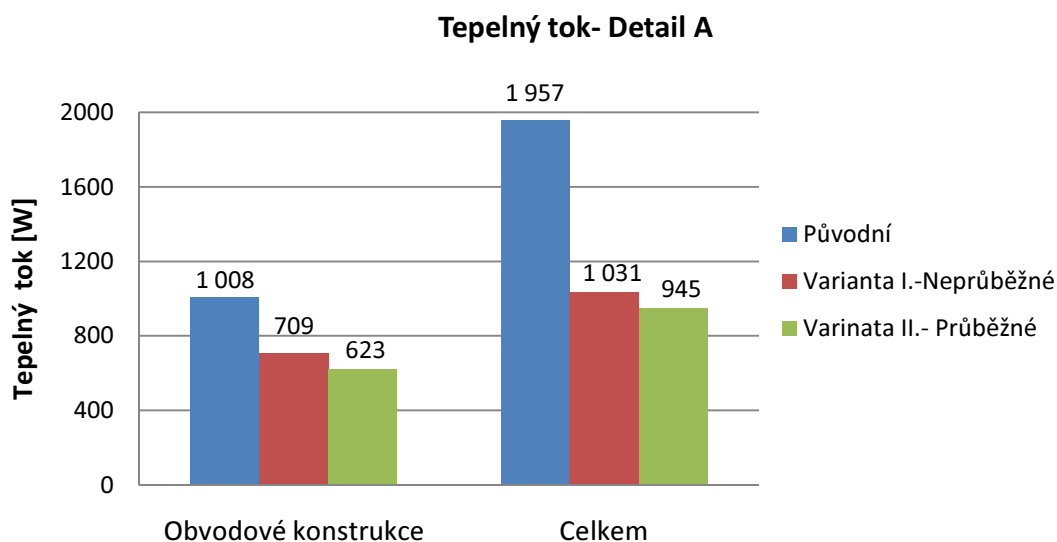
Pro porovnání variant a vyhodnocení budou použity tepelné toky, povrchové teploty a relativní vlhkost v koutových bodech konstrukce.

Tepelný tok

Jedním z parametrů určující využitelnost zateplení je snížení tepelné ztráty. V našem případě se srovnáme tepelný tok přes vybrané vymodelované detaily uliční fasády.

Tabulka 4.6-3- Tepelný tok- Srovnání variant detailu A

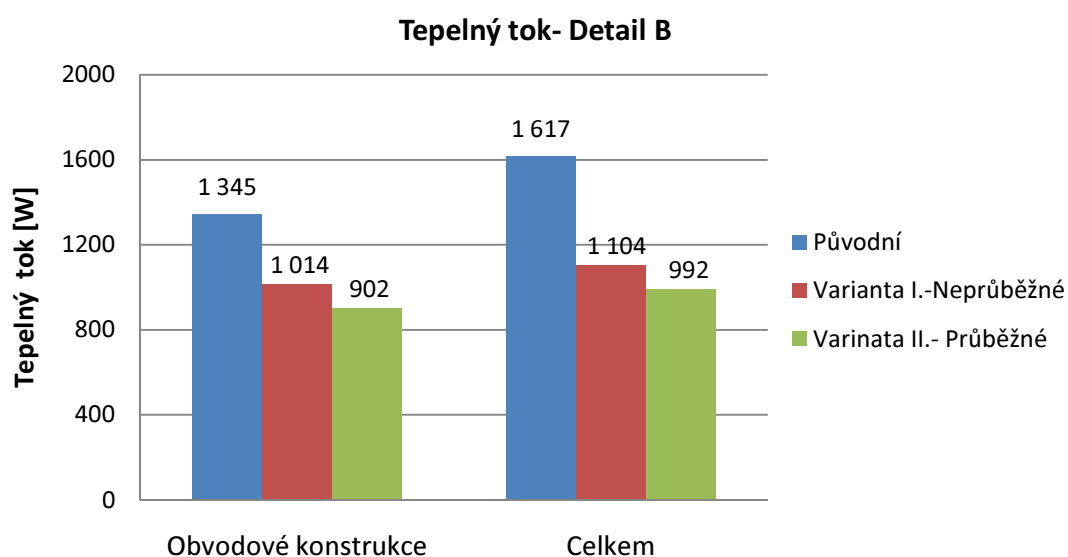
Tepelný tok	Okna	Obvodové konstrukce	Celkem	Obvodové konstrukce
Detail A	W	W	W	W/m ²
Původní	948,5	1008,1	1956,6	53,28
Varianta I.- Neprůběžné	322,5	708,9	1031,4	28,09
Varianta II.- Průběžné	322,5	622,54	945,04	25,74



Graf 4.6-1: Tepelný tok- Srovnání variant detailu A

Tabulka 4.6-4- Teplý tok- Srovnání variant detailu B

Teplý tok	Okna	Obvodové konstrukce	Celkem	Obvodové konstrukce
Detail B	W	W	W	W/m ²
Původní	272,8	1344,5	1617,3	51,92
Varianta I.- Neprůběžné	89,9	1014,1	1104	35,44
Varianta II.- Průběžné	89,9	901,7	991,6	31,83

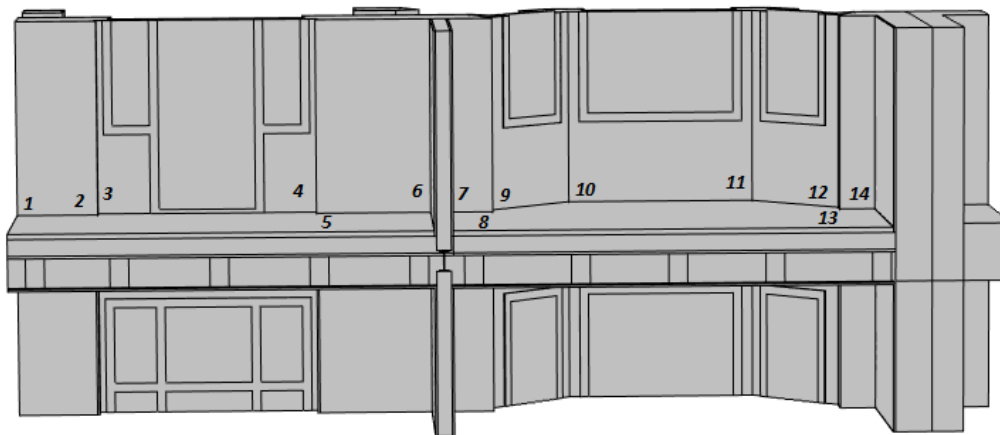


Graf 4.6-2-Teplý tok- Srovnání variant detailu B

Jak je patrné z obrázku xx, velký vliv na snížení tepelné ztráty má výměna výplní otvorů. U obou detailů vychází nižší tepelná ztráta u varianty s průběžným zateplením. V tomto případě prochází vrstva izolantu stropní konstrukcí a vytváří tak ucelenější tepelně izolační obálku budovy. Tato varianta je náročnější na stavební práce. Pro vytvoření průběžné tepelné izolace je potřeba rozebrat stropní konstrukci a po aplikaci tepelné izolace uvést stropní konstrukci do původního stavu. Z toho plyne vyšší časová a finanční náročnost.

Povrchová teplota a relativní vlhkost v koutových bodech

- Detail A - Arkýř a balkónu v úrovni stropu 2. nadzemního podlaží

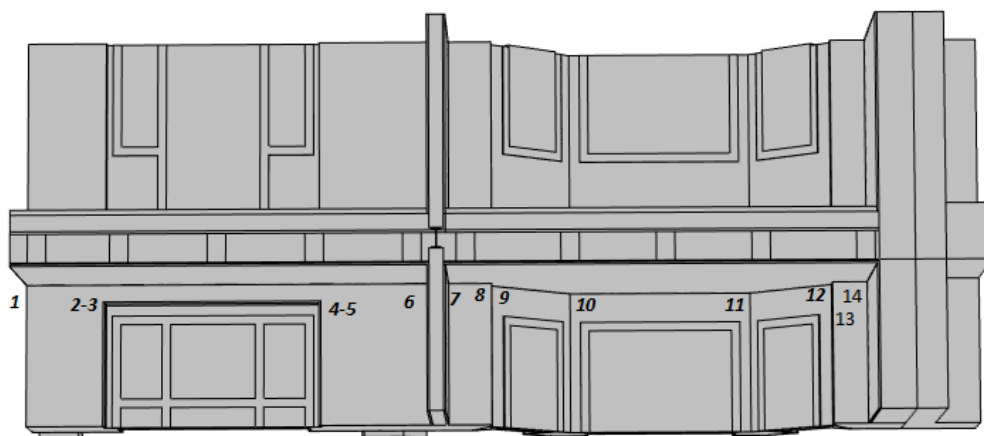


Obrázek 4.6-1: Detail A- Koutové body: podlaha

Tabulka 4.6-5: Detail A - koutové body: podlaha

Bod	Původní stav		Varianta I.- Neprůběžné zateplení		Varianta II.- Průběžné zateplení	
	Povrchová teplota	RH	Povrchová teplota	RH	Povrchová teplota	RH
	°C	%	°C	%	°C	%
1.	11,51	88,54	15,29	70,17	16,85	63,77
2.	16,69	64,47	18,34	58,44	19,22	55,44
3.	11,9	86,75	12,53	82,78	15,09	70,54
4.	11,73	87,07	12,53	82,61	15,14	70,27
5.	16,65	64,62	18,34	58,44	19,21	55,47
6.	14,99	71,31	14,53	74,73	14,94	71,37
7.	15,55	68,88	14,56	73,38	15,07	70,85
8.	18,75	57,03	19,51	54,54	20,01	52,96
9.	15,29	70,02	15,69	68,39	17,81	60,09
10.	11,25	89,71	12,96	80,68	16,36	65,20
11.	11,25	89,73	12,95	80,54	16,37	65,24
12.	15,19	70,45	15,84	67,68	17,93	59,65
13.	18,54	57,72	19,53	54,46	20,02	52,94
14.	14,51	73,36	14,04	75,54	14,45	73,47

Ve vyhodnocení se zaměříme na nejhorší body původního stavu, jsou to body 1, 10,11. V těchto bodech je povrchová teplota pod normovým požadavkem 12,6 °C a relativní vlhkost překračuje hodnotu 80%. V případě použití neprůběžné izolace se povrchová teplota zvedne nad normový požadavek pouze v bodě 1. V ostatních bodech je ke splnění normového požadavku potřeba průběžné zateplení.



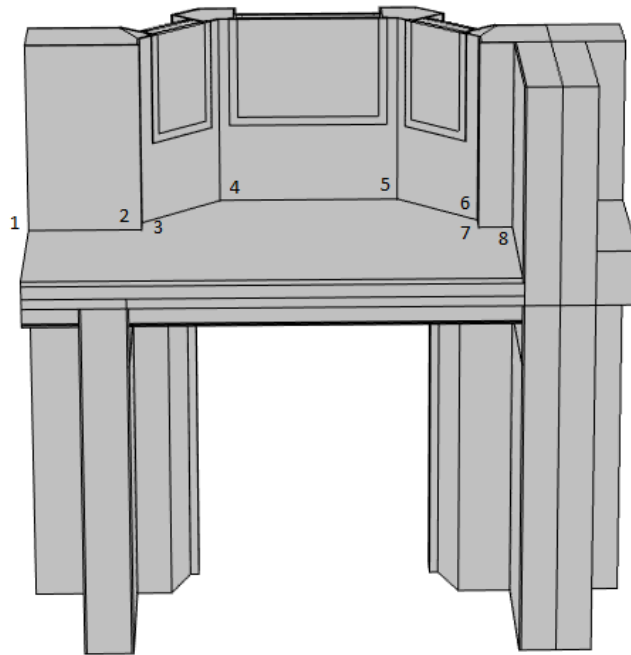
Obrázek 4.6-2: Detail A- Koutové body: strop

Tabulka 4.6-6: Detail A- Koutové body: strop

Bod	Původní stav		Varianta I.- Neprůběžné zateplení		Varianta II.- Průběžné zateplení	
	Povrchová teplota °C	RH %	Povrchová teplota °C	RH %	Povrchová teplota °C	RH %
1.	16,20	66,63	15,31	70,02	18,13	59,08
2.	18,39	58,26	20,34	51,96	20,76	50,69
3.	12,34	83,70	17,72	60,14	17,68	60,19
4.	12,32	83,8	17,75	60,04	17,73	60,09
5.	18,41	58,19	20,34	51,94	20,77	50,68
6.	16,57	64,84	15,57	68,82	16,29	65,88
7.	16,84	63,81	15,38	67,72	16,06	66,75
8.	19,49	54,60	19,12	55,79	19,69	53,96
9.	15,92	67,48	14,51	73,49	16,41	65,43
10.	13,41	78,67	11,85	86,67	16,63	64,55
11.	13,43	78,61	11,86	86,59	16,63	64,53
12.	15,75	68,20	14,63	72,98	16,52	65,02
13.	19,35	55,03	19,11	55,84	19,57	54,00
14.	16,00	67,06	15,53	68,95	15,86	67,55

V původním stavu nesplňují normový požadavek na povrchovou teplotu body 3 a 4. Po provedení neprůběžného zateplení se povrchová teplota v těchto bodech zvedne na 17,7°C. Vlivem zateplení dochází ke snížení teploty i vnitřního líce zdiva. To má za následek podchlazení zhlaví stropních trámů. Stropní trámy poté fungují jako tepelné mosty, kvůli kterým po aplikaci neprůběžného zateplení dojde v bodech 10 a 11 ke snížení teploty oproti původnímu stavu. Při použití průběžné izolace se teplota v těchto bodech zvedne na 16,63 °C.

- Detail B - Arkýř nad vjezdovou bránou



Obrázek 4.6-3: Detail B- Koutové body

Tabulka 4.6-7: Detail B- Koutové body

Bod	Původní stav		Varianta I.- Neprůběžné zateplení		Varianta II.- Průběžné zateplení	
	Povrchová teplota	RH	Povrchová teplota	RH	Povrchová teplota	RH
	°C	%	°C	%	°C	%
1.	14,5	73,5	15,97	67,32	16,38	63,79
2.	15,74	62,26	17,01	63,26	18,08	59,24
3.	10,73	92,66	12,35	83,84	15,82	71,76
4.	6,5	100	9,96	97,19	14,73	71,74
5.	6,49	100	9,9	97,48	14,73	59,20
6.	9,97	97,19	12,41	83,44	15,92	67,07
7.	15,16	70,7	16,24	66,25	18,11	59,20
8.	10,5	93,88	9,32	100	11,16	89,71

V tomto detailu je hned několik bodů s velmi nízkou povrchovou teplotou a relativní vlhkostí přesahující 90%. Jedná se o body 3, 4, 5, 6, 8. Podlahu arkýře nad exteriérovým prostorem tvoří betonová deska, škvárový záspý a dřevěná podlaha. Dá se tedy předpokládat, že neprůběžné zateplení obvodových stěn nebude na zvýšení povrchových teplot v koutech podlahy stačit. Ve variantě průběžného zateplení byl škvárový záspý nahrazen pěnovým sklem. Ale i v případě této varianty se povrchová teplota v bodě 8 nedostane přes normový požadavek. Pro zvýšení teploty v tomto bodě by bylo potřeba vytáhnout vrstvu tepelné izolace podél stěny se sousedním objektem.

5. Závěr

Cílem mé práce bylo navrhnout a posoudit vnitřní zateplení uliční fasády bytového domu na náměstí Jiřího z Poděbrad v Praze.

Pro zateplení byly vybrány dva materiály. Kapilárně aktivní vápenosilikátové desky Calsitherm tloušťky 50 mm používané na rozsáhlejší a tvarově jednodušší plochy. Jako druhý materiál byl použit aerogel Spaceloft tloušťky 20 mm používaný na stěny arkýře, ostění a nadpraží okenních otvorů. Pro zateplení byly vypracovány dvě varianty. První varianta zateplení je s neprůběžnou tepelnou izolací, kdy tepelná izolace neprochází stropní konstrukcí. Druhá varianta je s průběžnou izolací, kde vrstva tepelné izolace prochází stropní konstrukcí a nad vjezdem do objektu je vyměněn škvárový zásyp za pěnové sklo.

Pro vyhodnocení vlivu zateplení byly posouzeny stávající a variantně zateplené konstrukce v několika programech. Plošné konstrukce byly posouzeny v programu Teplo 2014 EDU a WUFI 5.0. Vybrané 2D detaily v programu Area 2014 a 3D detaily v programu COMSOL Multiphysics.

Po zateplení plošné konstrukce splňují požadavky dle normy ČSN 73 0540-2 na vnitřní povrchovou teplotu a teplotní faktor vnitřního povrchu. Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla normové požadavky nesplní. Především v případě použití desek Calsitherm by splnění normového požadavku vedlo k výrazně větší tloušťce izolantu a zabránilo další podlahové plochy. Po zateplení se výrazně zvýšilo množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce především v případě arkýřového zdiva zatepleného izolací Spaceloft. V programu WUFI 5.0 bylo dokázáno, že nedochází k trvalému navyšování kondenzátu v konstrukci. Nejsme schopni dokázat, že zvýšené množství neohrozí konstrukci a proto nesplníme požadavek normy ČSN 73 0540-2. Ke snížení množství kondenzátu by pomohlo využití vnitřní omítky s větším faktorem difusního odporu v místech použití aerogelové izolace.

V 3D modelech byly posouzeny povrchové teploty, teplotní toky a relativní vlhkost. Z pohledu povrchových teplot se ukázal jako problémovější 3D model arkýře nad vjezdovou bránou, kde ve variantě s neprůběžným zateplením v několika místech nedosahovala teplota v koutech podlahy ani 10°C. Po výměně zásypu se teploty v těchto

bodech zvedly nad normový požadavek 12,6°C. Vlivem zvětšení tepelného mostu spoje vnitřní a obvodové stěny však došlo ke snížení povrchové teploty v bodě 8 z obrázku xx pod požadovaných 12,6 °C. Tento bod je jediný z obou posuzovaných detailů, který ani po použití varianty s průběžnou tepelnou izolací nesplní normový požadavek.

Splněním požadavků na povrchovou teplotu zajišťujeme i to, že relativní vlhkost na povrchu nebude přesahovat 80 %.

I při nedodržení požadavků na součinitel prostupu tepla došlo k výraznému snížení tepelné ztráty posuzovaných detailů oproti původnímu stavu. Velký vliv na snížení má výměna starých oken za nová špaletová s lepšími tepelně technickými vlastnostmi.

Tabulka 4.6-1- Tepelný tok: Detail A- Arkýř a balkón v úrovni 2N.P.

Tepelný tok	Okna	Obvodové konstrukce	Celkem
Detail A	W	W	W
Původní	948,5	1008,1	1956,6
Varianta I.- Neprůběžné	322,5	708,9	1031,4
Varianta II.- Průběžné	322,5	622,54	945,04

Tabulka 4.6-2- Tepelný tok: Detail B- Arkýř nad vjezdovou bránou

Tepelný tok	Okna	Obvodové konstrukce	Celkem
Detail B	W	W	W
Původní	272,8	1344,5	1617,3
Varianta I.- Neprůběžné	89,9	1014,1	1104
Varianta II.- Průběžné	89,9	901,7	991,6

Z výše uvedených vyhodnocení se zdá varianta s průběžným zateplením jako výrazně lepší. Ovšem v místech zhlaví stropních trámů díky tomuto způsobu zateplení výrazně klesá povrchová teplota a tím se zvyšuje riziko kondenzace vodních par. V původním stavu je teplota v zhlaví 1,41°C po použití neprůběžného zateplení klesne na -2,06°C a v případně průběžného zateplení klesne až na -5,99 °C.

V návaznosti na tuto práci by bylo zajímavé zjistit, jaký vliv má snížení teploty v zhlaví trámů na jejich vlhkost a životnost. Další zajímavým způsobem navázání na tuto práci by bylo zjistit, jaký vliv by mělo použití vnitřní omítky s jiným faktorem difusního odporu na vlhkost v konstrukci.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ŠÁLA, Jiří. *O vnitřním zateplení* [online]. [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/540-o-vnitrnim-zatepleni>
- [2] ŠTASTNÝ, Pavel. *Problematika kapilárně aktivního systému vnitřního zateplení starších budov* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/8133-problematika-kapilarne-aktivniho-systemu-vnitriho-zatepleni-starsich-budov>
- [3] MEFFERT. *Desky Pura* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.meffert.cz/desky-pura>
- [4] MEFFERT. *Izolační a sanační deska redstone Clima Plus* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.redstone.cz/sortiment/izolacni-a-sanacni-deska-redstone-clima-plus/>
- [5] RIGIPS. *Systém vnitřního zateplení stěn* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.rigips.cz/files/rigitherm-vnitri-zatepleni-sten/p7.pdf>
- [6] ISOVER. *Isover EPS RigiFloor 4000* [online]. [cit. 2016-05-010]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/produkty/isover-eps-rigifloor-4000>
- [7] www.izolace-aerogel.cz,. *Spaceloft* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: <http://www.izolace-aerogel.cz/spaceloft.html>
- [8] Propasiv. *Areogelové izolace* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: <http://eshop.propasiv.cz/soubory/125cz.pdf>
- [9] Calsitherm. *Klimatizační deska Calsitherm* [online]. [cit. 2016-11-24]. Dostupné z: http://www.ebk.cz/images/vnitri-izolace-staveb/technicky_list_Klimatizacni_deska_CALSITHERM_2011_01.pdf
- [10] Calsitherm. *Vnitřní omítka KP* [online]. [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: http://www.ebk.cz/images/vnitri-izolace-staveb/technicky_list_Vnitri_omitka_KP_2011_01.pdf
- [11] J. Kohout, A. Tobek *Zednictví: Tradice z pohledu dneška*. 8. Grada Publishing, 1998. ISBN 80-7169-653-6.
- [12] S., Ondřej. *Stavba domu v praxi: Díl I*. 8. Praha, 1932.

- [13] J.Kohout,A. Tobek, Ondřej. *Konstruktivní stavitelství: Zednictví*. 6. Praha, 1931.
- [14] O. Anton, V.Blažková,L.Hobst . *Měření vlhkosti v praxi soudního inženýra* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>
- [15] ČSN 73 0540-2
- [16] ČSN 73 0540-2 Změna Z1
- [16] ČSN 73 0540-4
- [17] Kinzel, Jan. *Trámové zhlaví v systémech vnitřního zateplení*. Praha, 2015. Diplomová práce.
- [18] Svoboda, Studijní pomůcka Comsol 2D
- [19] Kabrhel, Michal. *Akumulace tepelné energie do stavebních konstrukcí* [online]. [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1401-akumulace-tepelne-energie-do-stavebnich-konstrukci>

Seznam obrázků

OBRÁZEK 2.1-1: ROZLOŽENÍ TEPLoty PRO RůZNÉ DRUHY ZATEPLENÍ	10
OBRÁZEK 2.1-2: SYSTÉMOVÁ DESKY PROTI VZNIKU TEPLENÝCH MOSTŮ [2]	12
OBRÁZEK 2.1-3: TEPELNÁ AKUMULACE KONSTRUKCE V PŘÍPADĚ VNĚJŠÍHO ZATEPLENÍ [19]	13
OBRÁZEK 2.2-1: MINERÁLNÍ DESKA REDSTONE PURA [3]	15
OBRÁZEK 2.2-2: DESKY CLIMA PLUS [4]	17
OBRÁZEK 2.2-3: SENDVIČOVÉ DESKY RIGITHERM [5]	18
OBRÁZEK 2.2-4: AREOGEL SPACELOFT [7]	20
OBRÁZEK 2.2-5: DESKY CALSITHERM [9]	21
OBRÁZEK 3.1-1: ULIČNÍ FASÁDA	23
OBRÁZEK 3.1-2: VYSUTÉ SCHODIŠTĚ	25
OBRÁZEK 3.1-3: ARKÝŘ A BALKÓN	26
OBRÁZEK 3.2-1: SCHÉMA MÍSTA ODBĚRŮ VZORKŮ	28
OBRÁZEK 3.2-2: ODBĚRNÁ MÍSTA VZORKŮ	29
OBRÁZEK 3.3-1: ULIČNÍ FASÁDA BYTOVÉHO DOMU NA NÁMĚSTÍ JIŘÍHO Z PODĚBRAD V PRAZE	30
OBRÁZEK 3.3-2: SNÍMEK ULIČNÍ FASÁDY	31
OBRÁZEK 3.3-3	31
OBRÁZEK 3.3-4: SNÍMEK ARKÝŘE NAD VJEZDEM S DETAILEM V ÚROVNÍ STROPU	31
OBRÁZEK 3.3-5: BALKÓNY ULIČNÍ FASÁDY	32
OBRÁZEK 4.3-1: DETAIL ARKÝŘE BĚŽNÉHO PODLAŽÍ- PŮVODNÍ STAV	41
OBRÁZEK 4.3-2: DETAIL ARKÝŘE NAD VJEZDEM- PŮVODNÍ STAV	41
OBRÁZEK 4.3-3: DETAIL BALKÓNU- PŮVODNÍ STAV	42
OBRÁZEK 4.3-4: SKLADBY PLOŠNÝCH KONSTRUKCÍ	43
OBRÁZEK 4.3-6: DETAIL A- GEOMETRIE MODELU INTERIÉR	50
OBRÁZEK 4.3-7: DETAIL A- GEOMETRIE MODELU EXTERIÉR	50
OBRÁZEK 4.3-8: DETAIL A- POVRCHOVÉ TEPLoty INTERIÉR HORNÍ POHLED	51
OBRÁZEK 4.3-9: DETAIL A- POVRCHOVÉ TEPLoty INTERIÉR SPODNÍ POHLED	52
OBRÁZEK 4.3-10: DETAIL A- TEPLOTNÍ POLE	53
OBRÁZEK 4.3-11: DETAIL A- TEPLOTNÍ POLE (AREA)	53
OBRÁZEK 4.3-12: POVRCHOVÁ TEPLota TRÁMY	54
OBRÁZEK 4.3-13: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST HORNÍ POHLED	55
OBRÁZEK 4.3-14: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST HORNÍ POHLED	56
OBRÁZEK 4.3-15: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ	57
OBRÁZEK 4.3-16: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ (AREA)	57
OBRÁZEK 4.3-17: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST TRÁMY	58
OBRÁZEK 4.3-18: DETAIL A- KOUTOVÉ BODY PODLAHA	58
OBRÁZEK 4.3-19: DETAIL A- KOUTOVÉ BODY STROP	59

OBRÁZEK 4.3-20: TEPELNÝ TOK EXTERIÉR.....	60
OBRÁZEK 4.3-21: DETAIL B- GEOMETRIE MODELU EXTERIÉR	61
OBRÁZEK 4.3-22: DETAIL B- GEOMETRIE MODELU INTERIÉR.....	61
OBRÁZEK 4.3-23: DETAIL B- VNITŘNÍ POVRCHOVÁ TEPLOTA.....	62
OBRÁZEK 4.3-24: DETAIL B- TEPLONÍ POLE	63
OBRÁZEK 4.3-25: DETAIL B- RELATIVNÍ VLHKOST INTERIÉR.....	64
OBRÁZEK 4.3-26: DETAIL B- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ.....	64
OBRÁZEK 4.3-27: DETAIL B- BODY	65
OBRÁZEK 4.3-28:DETAIL B- TEPELNÝ TOK EXTERIÉR	66
OBRÁZEK 4.4-1: DETAIL ARKÝŘE BĚŽNÉHO PODLAŽÍ- VARIANTA I	67
OBRÁZEK 4.4-2: DETAIL ARKÝŘE NAD VJEZDEM- VARIANTA I	68
OBRÁZEK 4.4-3 DETAIL BALKÓNU- VARIANTA I.....	68
OBRÁZEK 4.4-4: SKLADBY PLOŠNÝCH KONSTRUKCÍ- VARIANTA I.....	69
OBRÁZEK 4.4-5 : DETAIL A- VNITŘNÍ POVRCHOVÁ TEPLOTA HORNÍ POHLED	78
OBRÁZEK 4.4-6: DETAIL A- VNITŘNÍ POVRCHOVÉ TEPLOTA SPODNÍ POHLED	79
OBRÁZEK 4.4-7: DETAIL A: TEPLONÍ POLE ŘEZ	79
OBRÁZEK 4.4-8: DETAIL A- POVRCHOVÉ TEPLOTA TRÁMY	80
OBRÁZEK 4.4-9: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST HORNÍ POHLED	81
OBRÁZEK 4.4-10: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST SPODNÍ POHLED	81
OBRÁZEK 4.4-11: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ.....	82
OBRÁZEK 4.4-12: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ (AREA)	82
OBRÁZEK 4.4-13 DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST TRÁMY	83
OBRÁZEK 4.4-14: KOUTOVÉ BODY- PODLAHA	83
OBRÁZEK 4.4-15: KOUTOVÉ BODY- STROP	84
OBRÁZEK 4.4-16: DETAIL A- TEPELNÝ TOK EXTERIÉR	85
OBRÁZEK 4.4-17: DETAIL B- POVRCHOVÁ TEPLOTA INTERIÉR	86
OBRÁZEK 4.4-18: DETAIL B- POLE TEPLONÍ ŘEZ	87
OBRÁZEK 4.4-19: DETAIL B- RELATIVNÍ VLHKOST INTERIÉR	88
OBRÁZEK 4.4-20: DETAIL B- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ	88
OBRÁZEK 4.4-21: DETAIL B- KOUTOVÉ BODY	89
OBRÁZEK 4.4-22:DETAIL B- TEPELNÝ TOK EXTERIÉR	90
OBRÁZEK 4.5-1: DETAIL ARKÝŘE BĚŽNÉHO PODLAŽÍ- VARIANTA II	91
OBRÁZEK 4.5-2: DETAIL ARKÝŘE NAD VJEZDEM- VARIANTA II.....	92
OBRÁZEK 4.5-3: DETAIL BALKÓNU- VARIANTA II.....	92
OBRÁZEK 4.5-4: DETAIL A- VNITŘNÍ POVRCHOVÁ TEPLOTA.....	93
OBRÁZEK 4.5-5:DETAIL A- TEPLONÍ POLE ŘEZ.....	94
OBRÁZEK 4.5-6: DETAIL A-TEPLONÍ POLE ŘEZ (AREA).....	94
OBRÁZEK 4.5-7: DETAIL A- POVRCHOVÁ TEPLOTA TRÁMY	95

OBRÁZEK 4.5-8: DETAIL A- KOUTOVÉ BODY PODLAHA.....	95
OBRÁZEK 4.5-9:DETAIL A- KOUTOVÉ BODY STROP.....	96
OBRÁZEK 4.5-10: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST INTERIÉR	97
OBRÁZEK 4.5-11: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ.....	98
OBRÁZEK 4.5-12:DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ (AREA).....	98
OBRÁZEK 4.5-13:DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST TRÁMY	99
OBRÁZEK 4.5-14:DETAIL A- TEPLNÝ TOK EXTERIÉR	99
OBRÁZEK 4.5-15: DETAIL B- POVRCHOVÁ TEPLOTA INTERIÉR.....	100
OBRÁZEK 4.5-16: DETAIL B- TEPLTNÍ POLE ŘEZ.....	101
OBRÁZEK 4.5-17: DETAIL B- RELATIVNÍ VLHKOST INTERIÉR.....	102
OBRÁZEK 4.5-18: DETAIL B-RELATIVNÍ VLHKOST ŘEZ	102
OBRÁZEK 4.5-19: DETAIL B- KOUTOVÉ BODY	103
OBRÁZEK 4.5-20: DETAIL B- TEPELNÝ TOK EXTERIÉR	104
OBRÁZEK 4.5-21: DETAIL B- TEPELNÝ TOK EXTERIÉR SPODNÍ POHLED	105
OBRÁZEK 4.6-1: DETAIL A- KOUTOVÉ BODY: PODLAHA.....	109
OBRÁZEK 4.6-2: DETAIL A- KOUTOVÉ BODY: STROP.....	110
OBRÁZEK 4.6-3: DETAIL B- KOUTOVÉ BODY	111

Seznam tabulek

TABULKA 2.2-1: VLASTNOSTI DESEK REDSTONE PURA	16
TABULKA 2.2-2: VLASTNOSTI MATERIÁLU CLIMA PLUS	18
TABULKA 2.2-3: VLASTNOSTI POLYSTYRÉNU RIGIFLOOR 4000	19
TABULKA 2.2-4: VLASTNOSTI AEROGELU SPACELOFT	21
TABULKA 2.2-5: VLASTNOSTI DESEK CALSITHERM	22
TABULKA 3.2-1: KLASIFIKACE VLHKOSTI ZDIVA	27
TABULKA 3.2-2: VYHODNOCENÍ VLHKOSTI ZDIVA	30
TABULKA 4.2-1: MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	38
TABULKA 4.2-2: OKRAJOVÉ PODMÍNKY 3D DETAILŮ	39
TABULKA 4.3-1: POSOUZENÍ PLOŠNÝCH KONSTRUKCÍ NA ŠÍŘENÍ TEPLA	44
TABULKA 4.3-2: POSOUZENÍ PLOŠNÝ NA KONDENZACI VODNÍ PÁRY	45
TABULKA 4.3-3:DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH NA PODLAZE	59
TABULKA 4.3-4: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH NA STROPĚ	59
TABULKA 4.3-5: RELATIVNÍ VLHKOST A TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH	65
TABULKA 4.4-1: POSOUZENÍ PLOŠNÝCH KONSTRUKCÍ NA ŠÍŘENÍ TEPLA	70
TABULKA 4.4-2: POSOUZENÍ PLOŠNÝ NA KONDENZACI VODNÍ PÁRY	71
TABULKA 4.4-3: VYPOČTENÉ HODNOTY HMOTNOSTÍ VLHKOST ZATEPLENÉHO DUTINOVÉHO ZDIVA	76
TABULKA 4.4-4: VYPOČTENÉ HODNOTY HMOTNOSTÍ VLHKOST ZATEPLENÉHO ZDIVA Z CPP TL. 450 MM ..	76
TABULKA 4.4-5: VYPOČTENÉ HODNOTY HMOTNOSTÍ VLHKOST ZATEPLENÉHO ZDIVA Z CPP TL. 640 MM ..	77
TABULKA 4.4-6 RELATIVNÍ VLHKOST A TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH- PODLAHA	83
TABULKA 4.4-7: RELATIVNÍ VLHKOST A TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH- STROP	84
TABULKA 4.4-8: DETAIL B- KOUTOVÉ BODY	89
TABULKA 4.5-1:DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST A TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH PODLAHY	96
TABULKA 4.5-2: DETAIL A- RELATIVNÍ VLHKOST A TEPLA V KOUTOVÝCH BODECH STROPU	96
TABULKA 4.5-3- DETAIL B: KOUTOVÉ BODY	103
TABULKA 4.6-1- POSOUZENÍ PLOŠNÝCH KONSTRUKCÍ- ŠÍŘENÍ TEPLA	106
TABULKA 4.6-2- POSOUZENÍ PLOŠNÝCH KONSTRUKCÍ- VLHKOST	106
TABULKA 4.6-3- TEPLNÝ TOK- SROVNÁNÍ VARIANT DETAILU A	107
TABULKA 4.6-4- TEPLNÝ TOK- SROVNÁNÍ VARIANT DETAILU B	108
TABULKA 4.6-5: DETAIL A - KOUTOVÉ BODY: PODLAHA	109
TABULKA 4.6-6: DETAIL A- KOUTOVÉ BODY: STROP	110
TABULKA 4.6-7: DETAIL B- KOUTOVÉ BODY	112
TABULKA 4.6-1- TEPLNÝ TOK: DETAIL A- ARKÝŘ A BALKÓN V ÚROVNÍ 2N.P.	114
TABULKA 4.6-2- TEPLNÝ TOK: DETAIL B- ARKÝŘ NAD VJEZDOVOU BRÁNOU	114

Seznam grafů

GRAF 4.3-1: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U STĚNY Z CPP TL. 450 MM	46
GRAF 4.3-2: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U STĚNY Z DUTNOVÝCH CIHEL TL. 450 MM	46
GRAF 4.3-3 ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U STĚNY Z CCP TL. 640 MM A $\Phi_E=81,2\%$ A $\Theta_E=-2,4\text{ }^\circ\text{C}$	47
GRAF 4.3-4: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U STĚNY Z CCP TL. 450 MM A $\Phi_E=81,2\%$ A $\Theta_E=-2,4\text{ }^\circ\text{C}$	48
GRAF 4.3-5 ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U STĚNY Z DUTINOVÝCH CIHEL TL. 640 MM A $\Phi_E=81,2\%$ A $\Theta_E=-2,4\text{ }^\circ\text{C}$	48
GRAF 4.4-1: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U ZATEPLENÉ STĚNY Z CPP TL. 640 MM.....	71
GRAF 4.4-2: AKUMULOVANÉ MNOŽSTVÍ ZKONDENZOVANÉ VLHKOSTI U ZATEPLENÉ STĚNY Z CPP TL.640 MM.....	72
GRAF 4.4-3: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U ZATEPLENÉ STĚNY Z CPP TL. 450 MM.....	72
GRAF 4.4-4: AKUMULOVANÉ MNOŽSTVÍ ZKONDENZOVANÉ VLHKOSTI U ZATEPLENÉ STĚNY Z CPP TL. 450 MM.....	73
GRAF 4.4-5: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U ZATEPLENÉ STĚNY Z DUTINOVÉHO ZDIVA TL. 450 MM	73
GRAF 4.4-6: ROZLOŽENÍ TLAKŮ VODNÍ PÁRY U ZATEPLENÉ STĚNY Z DUTINOVÉHO ZDIVA TL. 450 MM A $\Phi_E=81,2\%$ A.....	75
GRAF 4.4-7: HMOTNOSTNÍ VLHKOST VE VRSTVĚ PŮVODNÍ OMÍTKY	76
GRAF 4.6-1: TEPLENÝ TOK- SROVNÁNÍ VARIANT DETAILU A	107
GRAF 4.6-2-TEPLENÝ TOK- SROVNÁNÍ VARIANT DETAILU B	108

Seznam příloh

Příloha 1: Schéma půdorysu 1.P.P.	(1:100)
Příloha 2: Schéma půdorysu 1.N.P.	(1:100)
Příloha 3: Schéma půdorysu 2.N.P.,běžné podlaží	(1:100)
Příloha 4: Schematický řez	(1:100)
Příloha 5: Detail arkýře- původní stav	(1:15)
Příloha 6: Detail arkýře- neprůběžné zateplení	(1:15)
Příloha 7: Detail arkýře- průběžné zateplení	(1:15)
Příloha 8: Detail balkónu- původní stav	(1:15)
Příloha 9: Detail balkónu- neprůběžné zateplení	(1:15)
Příloha 10: Detail balkónu- průběžné zateplení	(1:15)

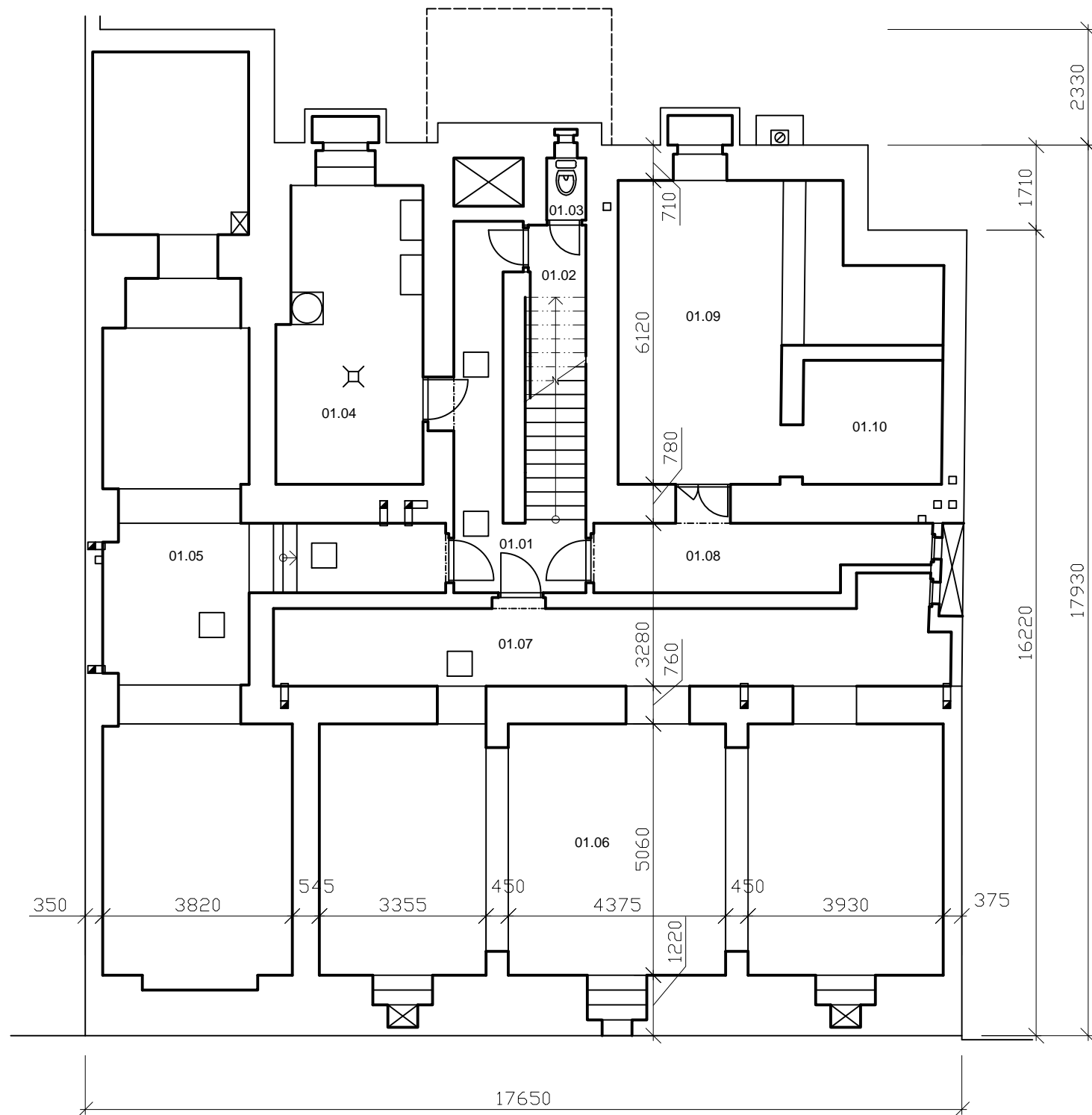


Schéma půdorysu 1.P.P.
1:100

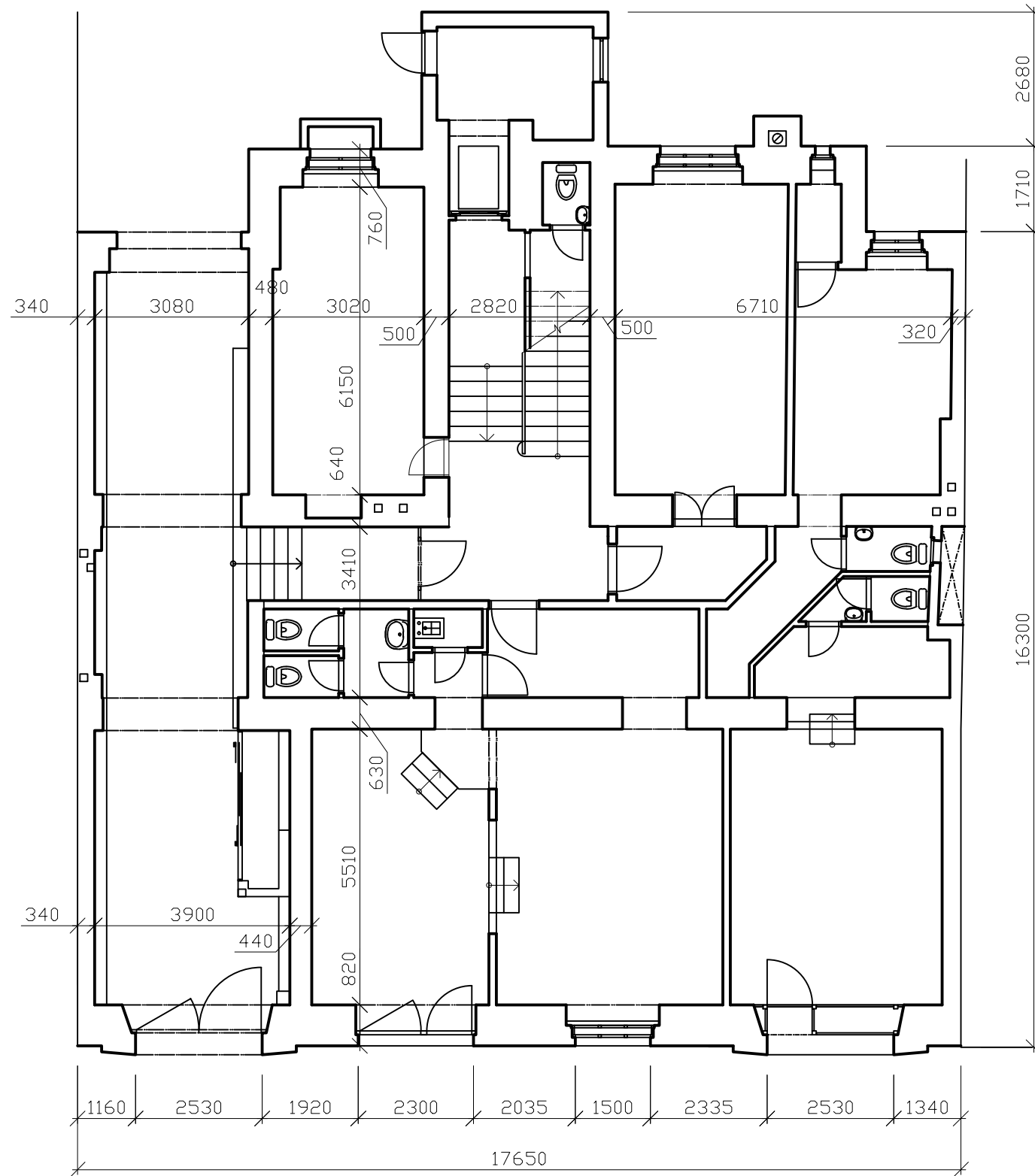


Schéma půdorysu 1.N.P.
1:100

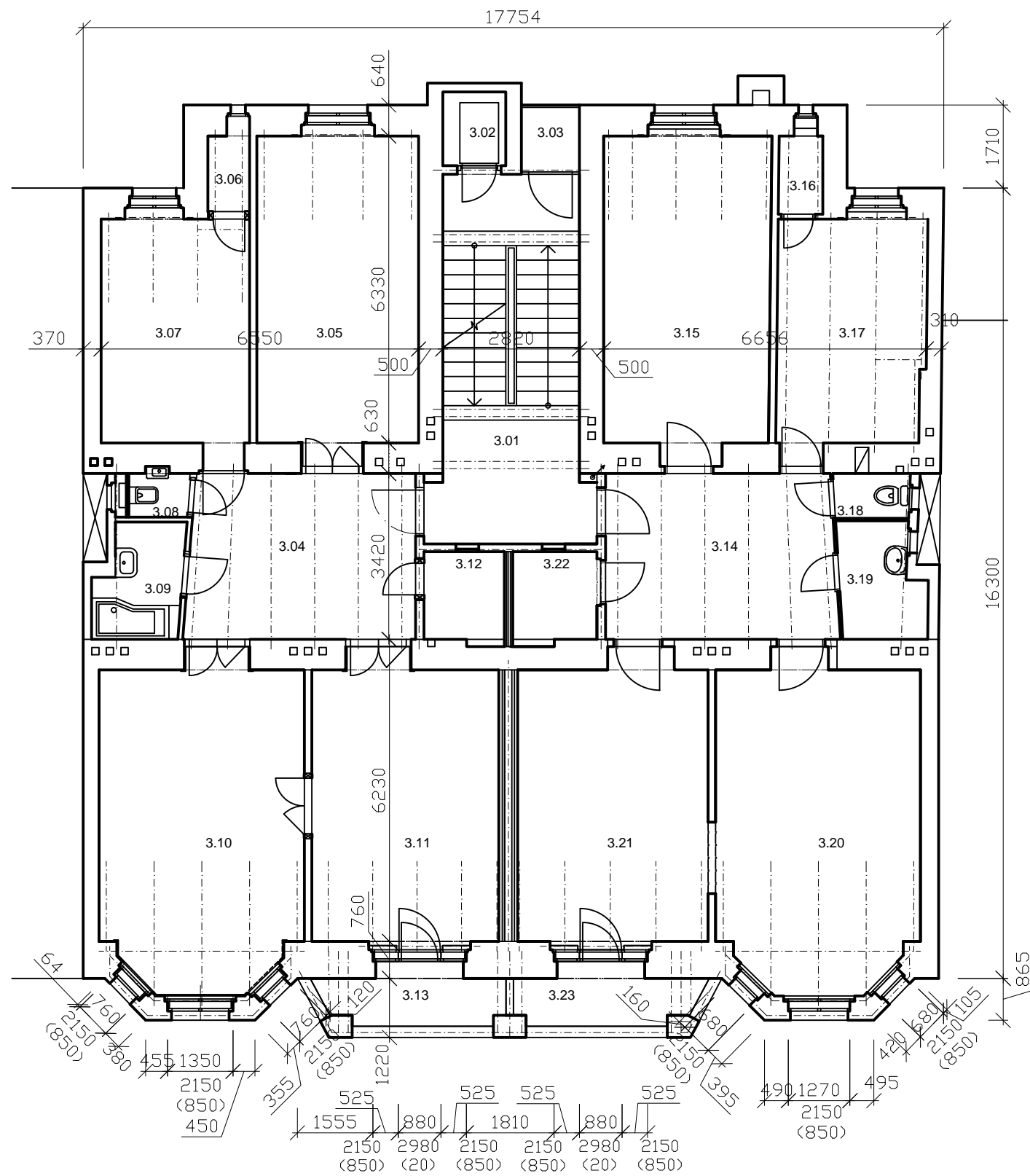
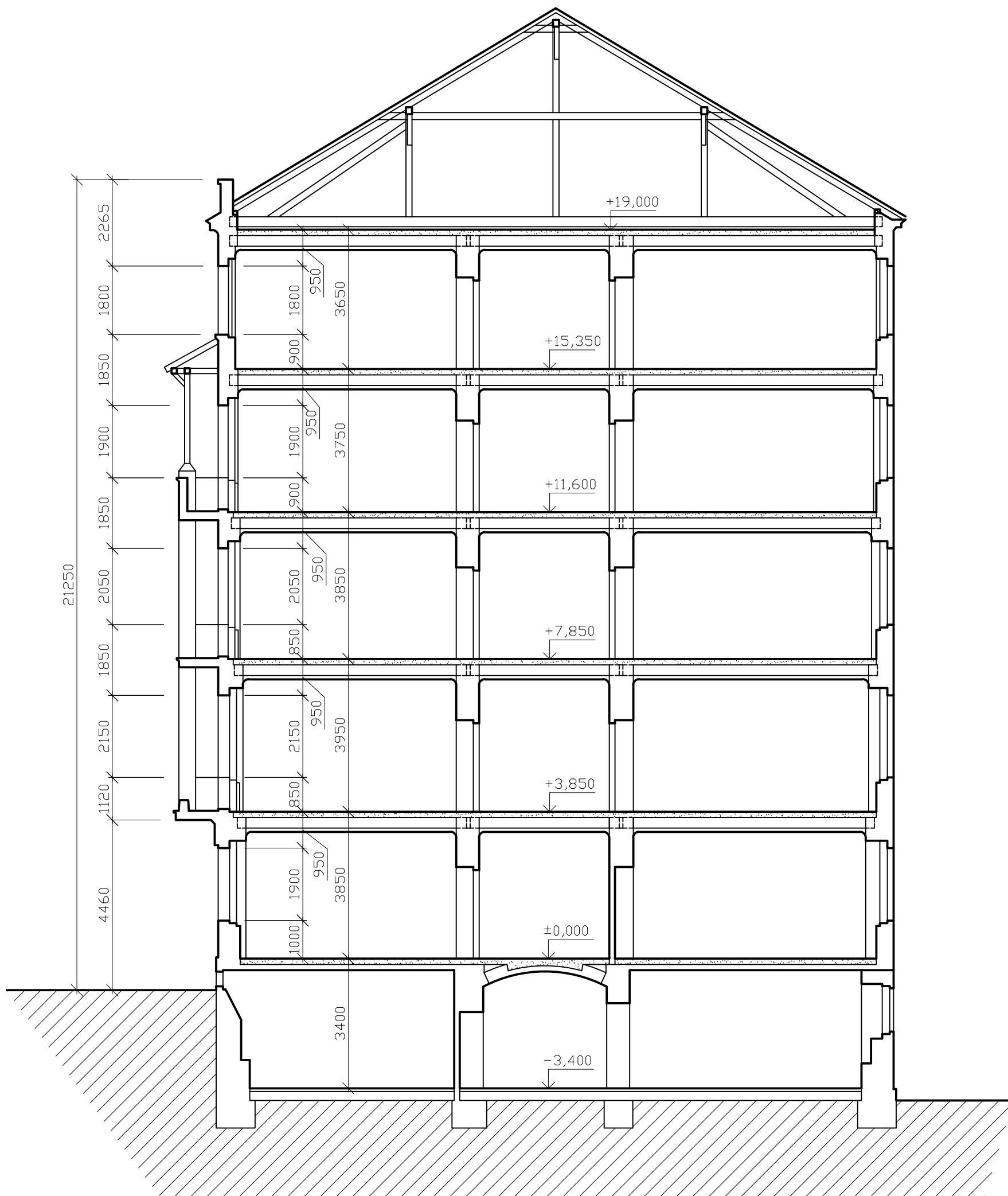
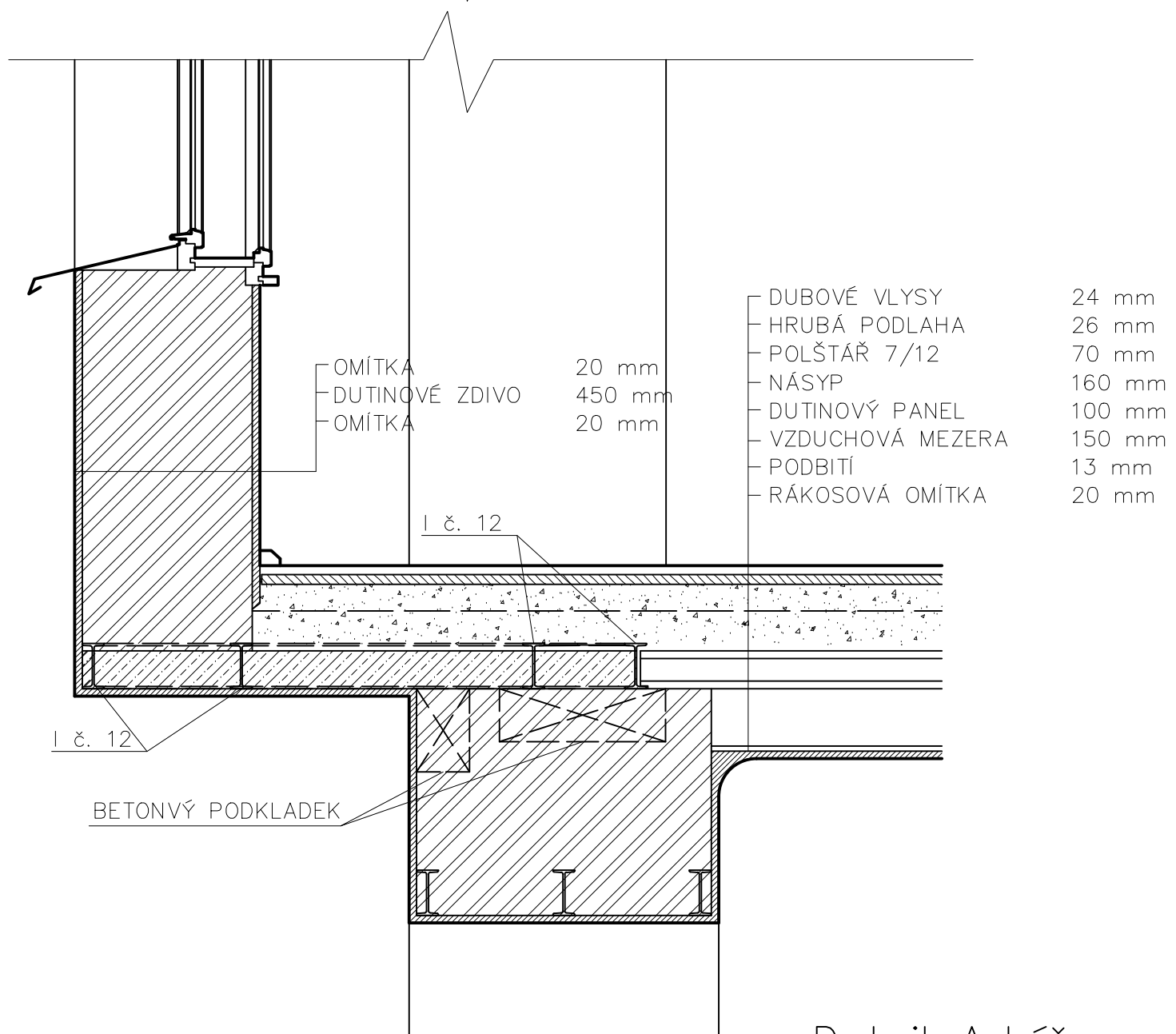
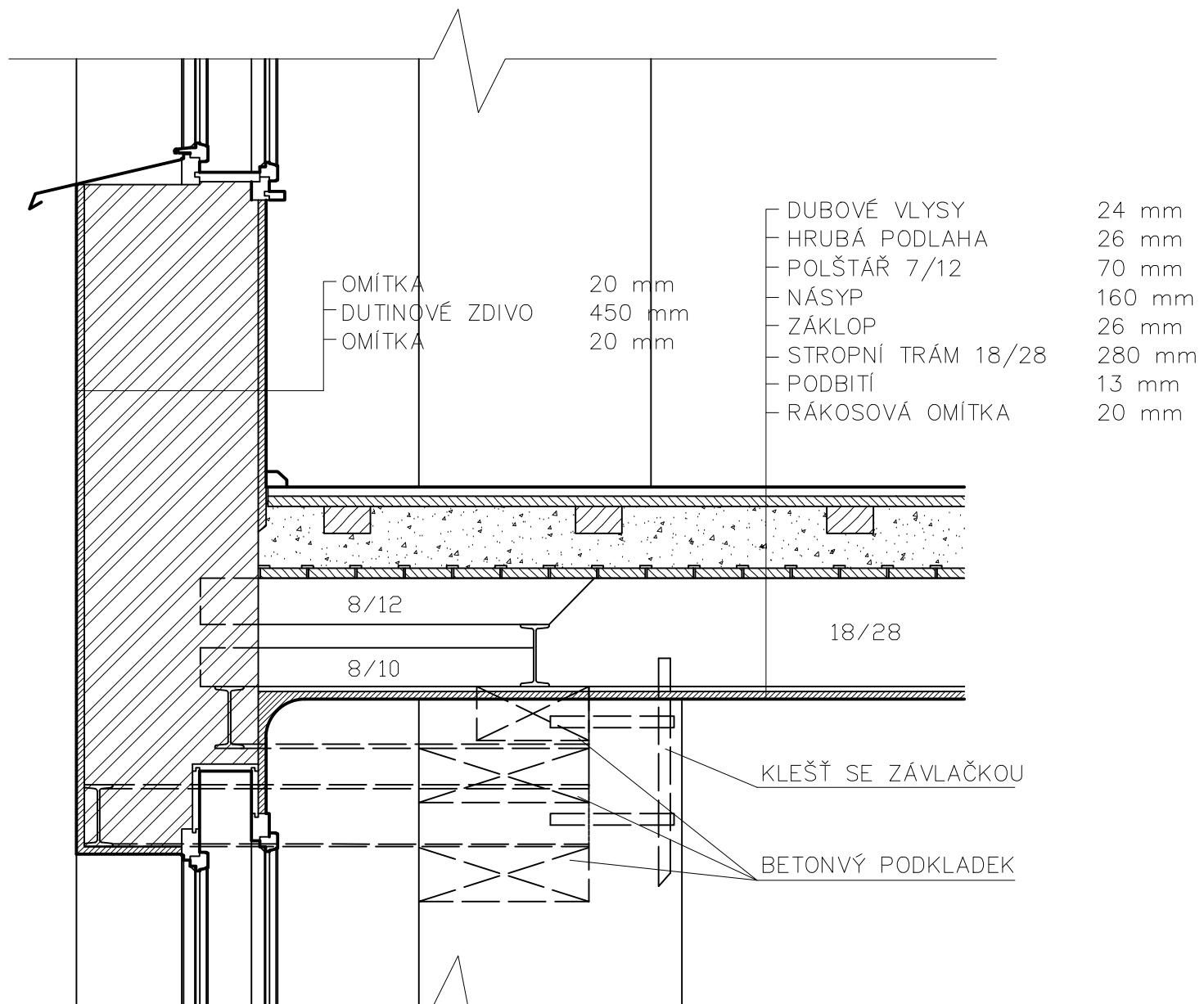


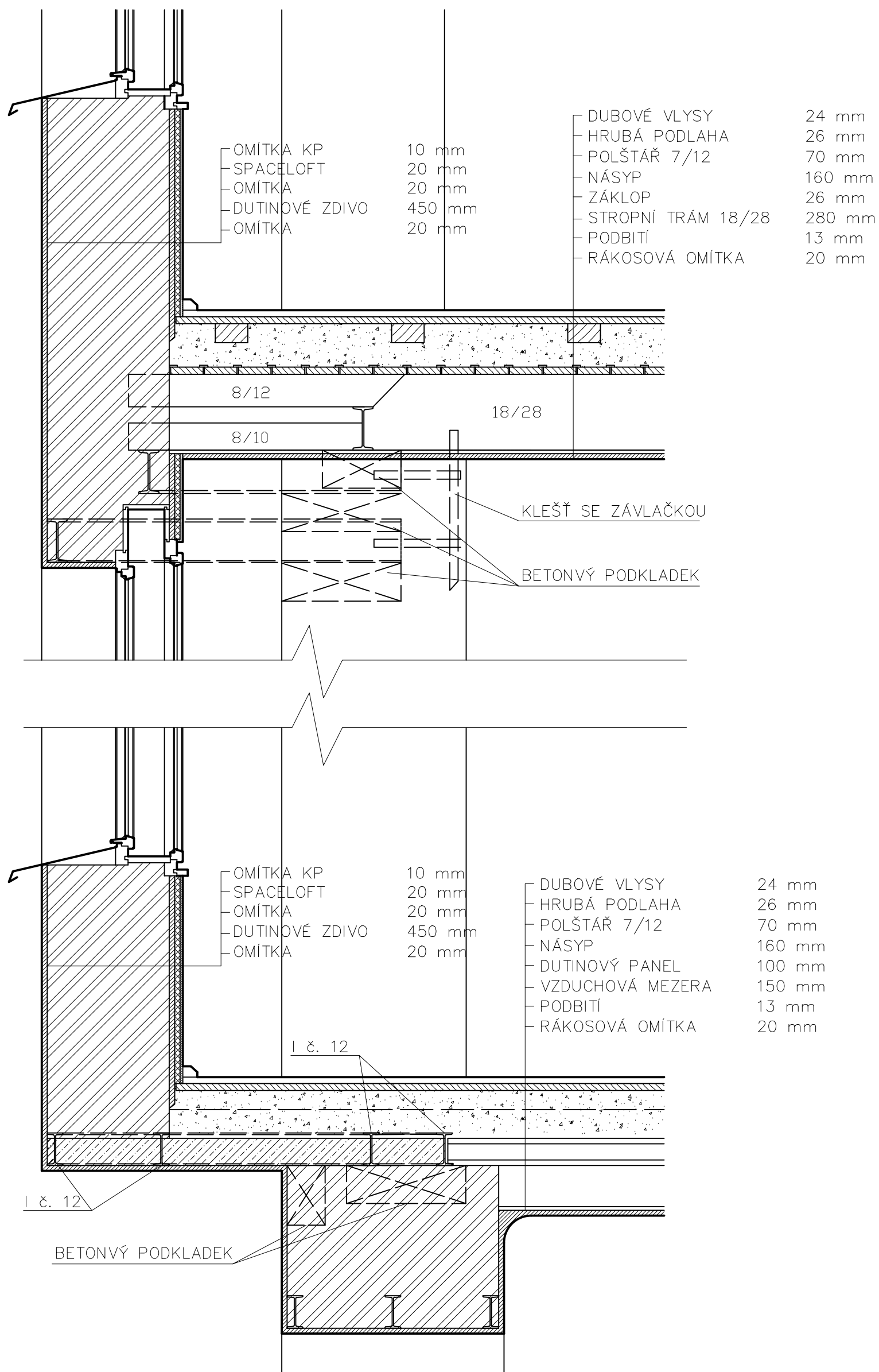
Schéma půdorysu 2.N.P.
 Běžné podlaží
 1:100



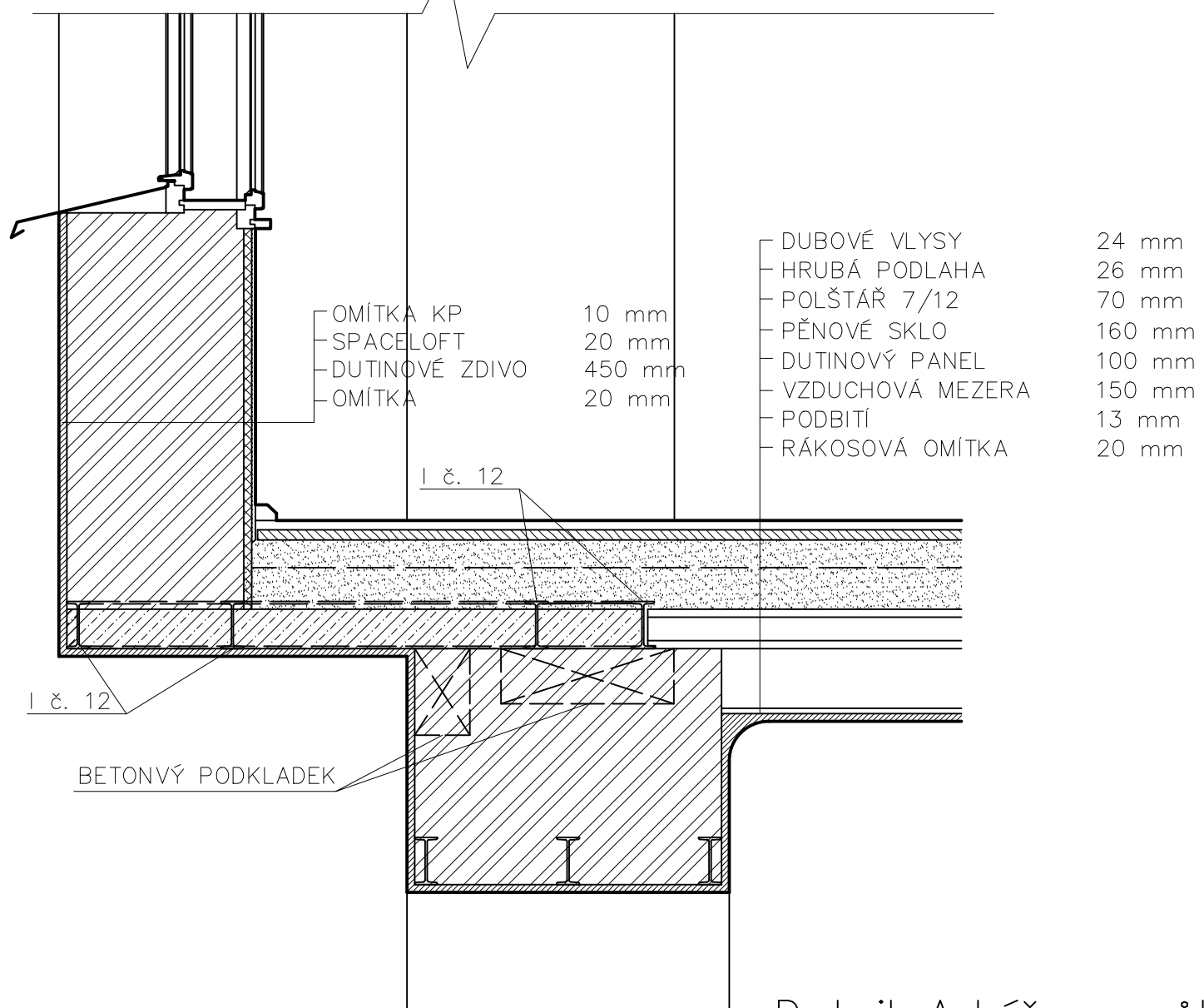
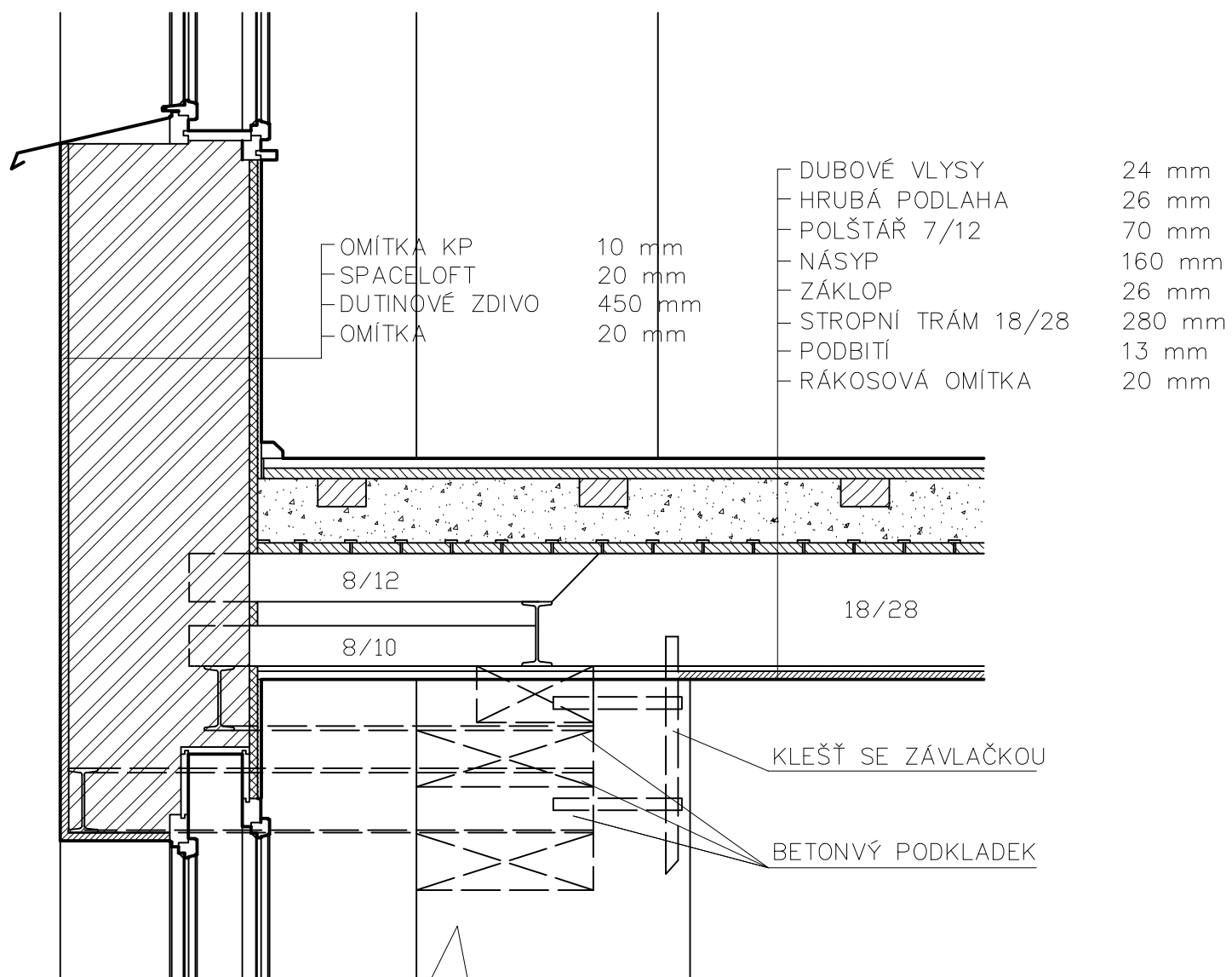
Schématický řez
1:100



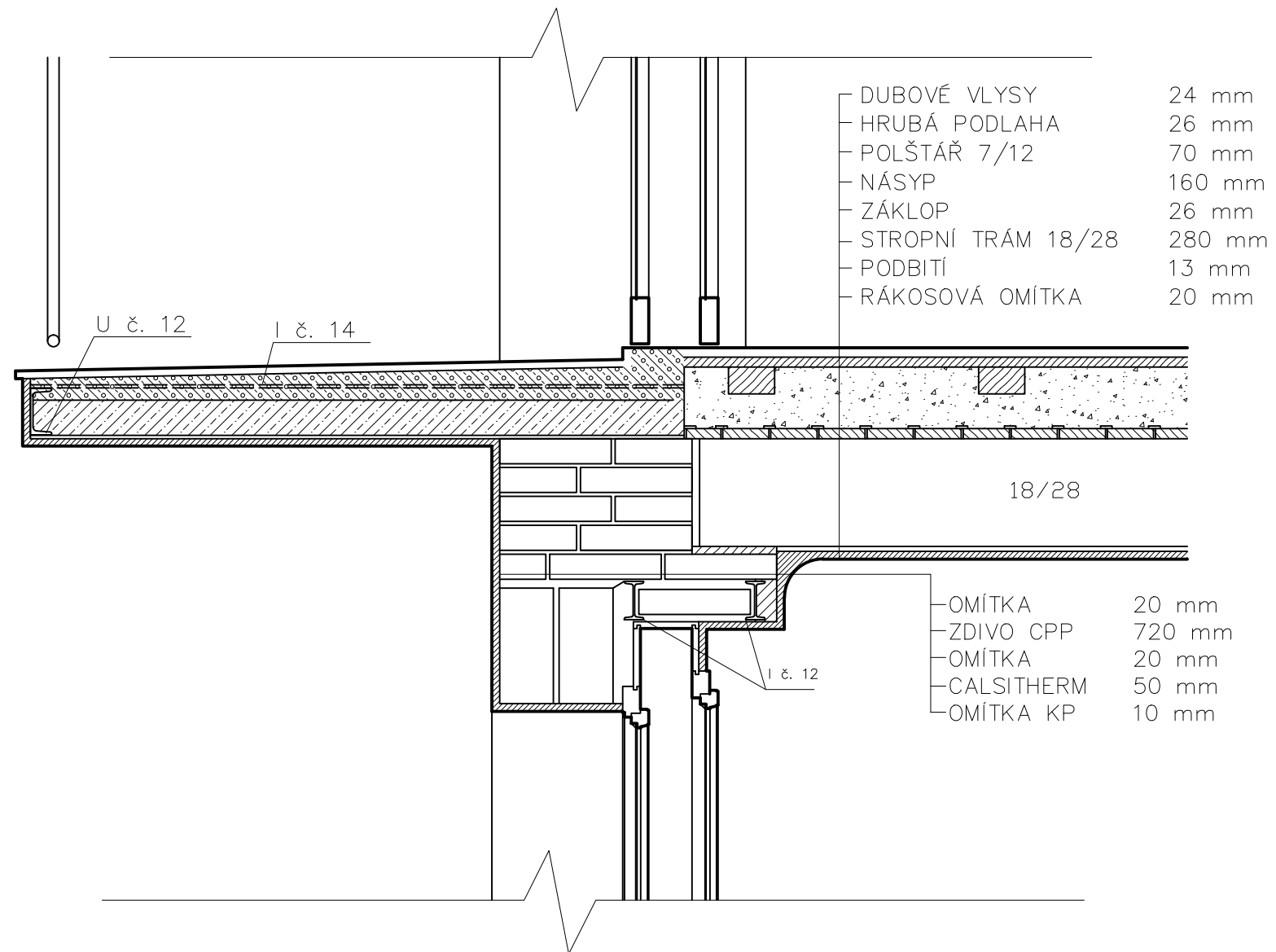
Detail Arkýře – původní stav
 1:15



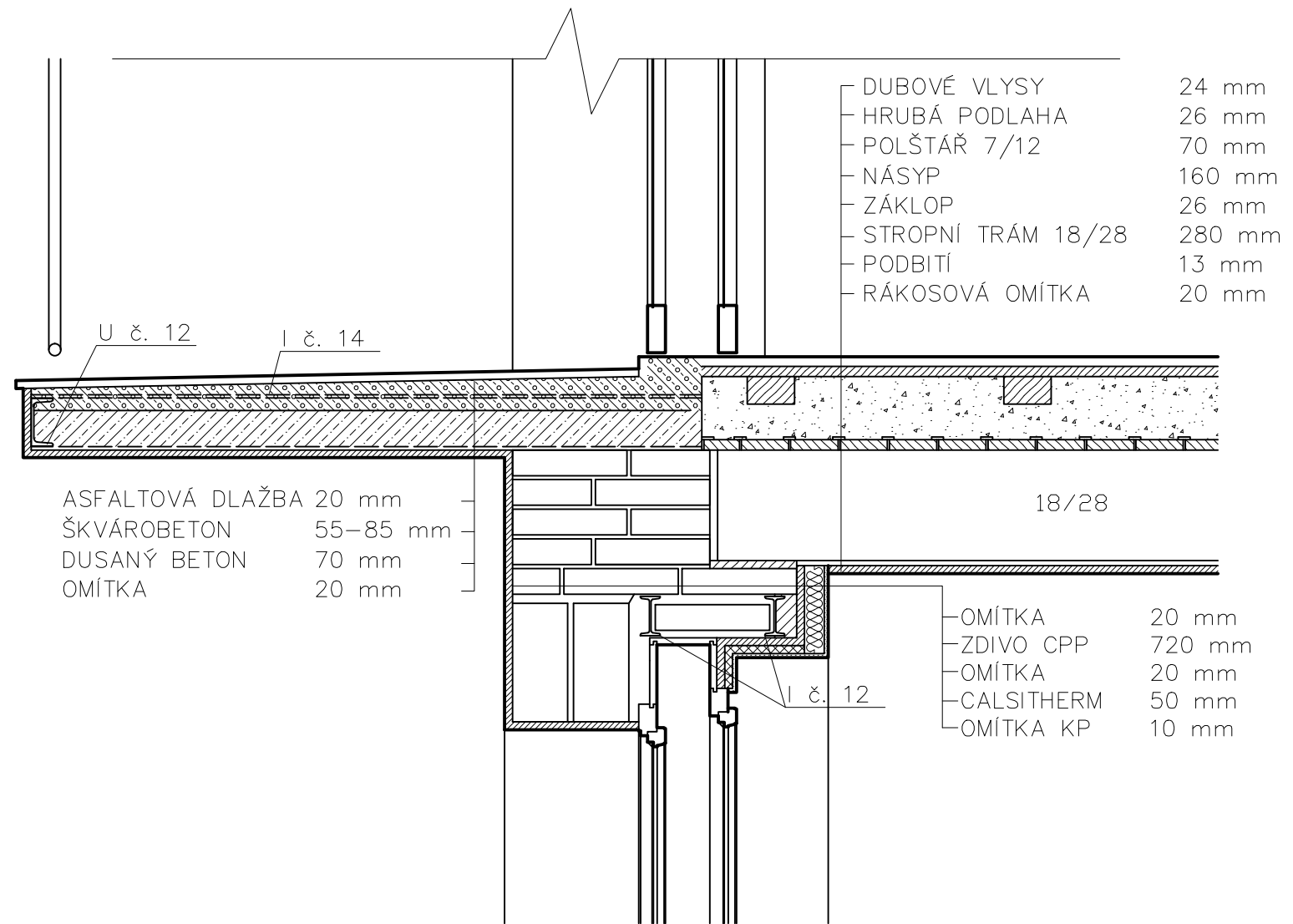
Detail Arkýře– neprůběžné zateplení
 1:15



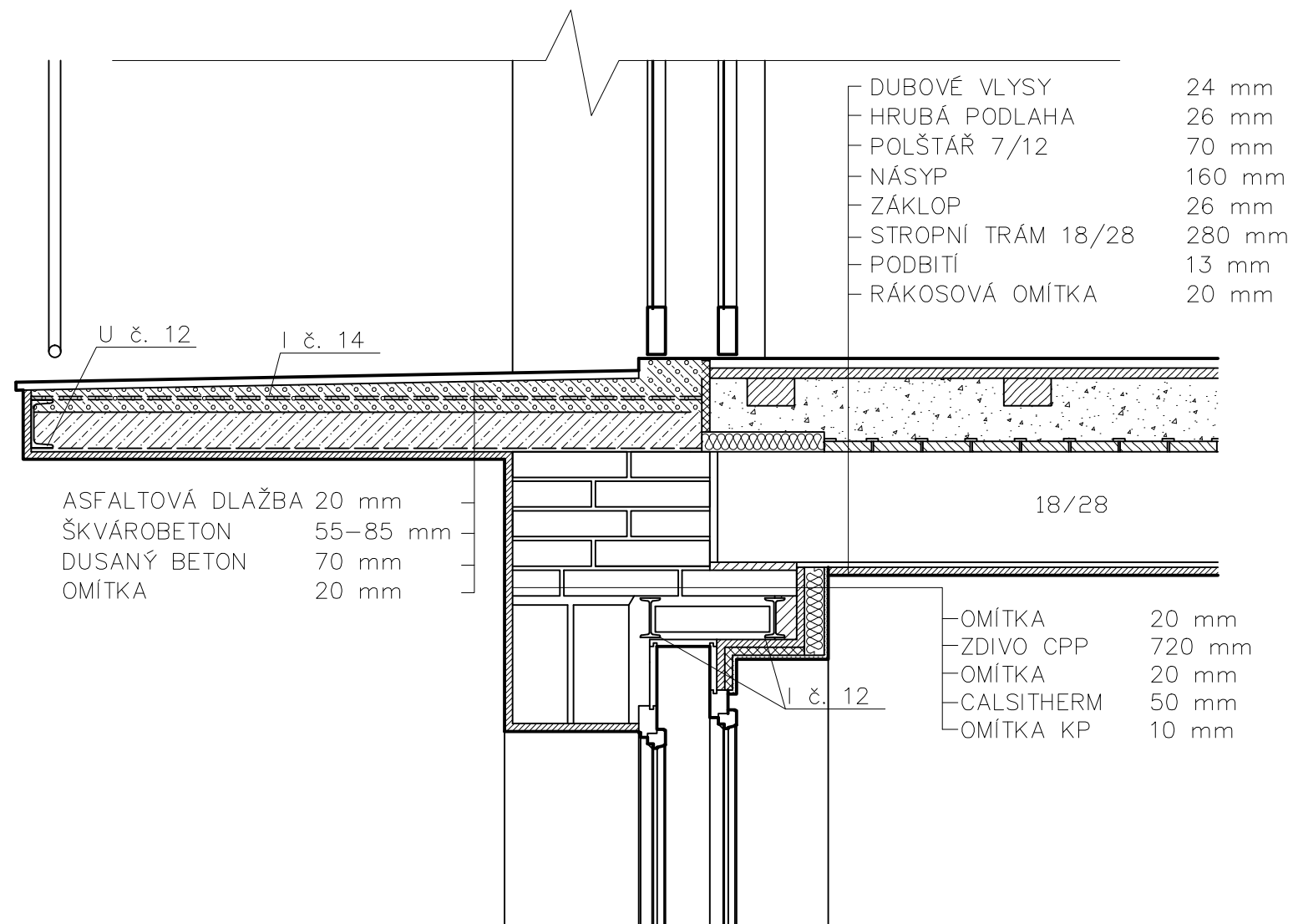
Detail Arkýře – průběžné zateplení
1:15



Detail Balkónu— původní stav
1:15



Detail Balkónu– neprůběžné zateplení
1:15



Detail Balkónu – průběžné zateplení
 1:15