

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Vnitřní zateplení bytového domu v Praze

Internal insulation apartment building on Prague

Diplomová práce

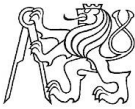
Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D

Lenka Šídlová

Praha 2017



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šídlová	Jméno: Lenka	Osobní číslo: 396609
Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor: Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vnitřní zateplení bytového domu v Praze	
Název diplomové práce anglicky: Internal insulation of residential house in Prague	
Pokyny pro vypracování: Studie vnitřního zateplení bytového domu. Provedení stavebně technického průzkumu. Tepelně-vlhkostní posouzení skladeb. Posouzení vybraných detailů ve 2D a 3D modelu.	
Seznam doporučené literatury: Tesařství - tradice z pohledu dneška; Zednictví - tradice z pohledu dneška Stavba domu v praxi I,II	
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 nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

3.10.2016	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny a literatura jsou uvedeny v seznamu citované literatury.

Nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze 8.ledna 2017

.....

Bc. Lenka Šídlová

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Kamilu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracování mé diplomové práce, jeho odborné rady, připomínky a cenné informace.

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

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na vnitřní zateplení objektu. Vhodnost vnitřního zateplení je posouzena na historickém bytovém domě, který se nachází v Praze - Vinohrady.

Práce je rozdělena do 5 základních kapitol, kdy první 2 kapitoly tvoří rešeršní část práce. Zabývají se problémy a jednotlivými systémy vnitřního zateplení a stavebně technickým průzkumem výše zmíněného objektu. Předmětem práce je vymodelování původního stavu objektu a následný návrh vnitřního zateplení a posouzení vhodnosti jeho použití. Součástí výpočtů je část, která hodnotí jednotlivé konstrukce objektu. Pro 3D modelování a výpočty je použit program COMSOL Multiphysics.

Klíčová slova

Rekonstrukce, historický objekt, vnitřní zateplení, součinitel prostupu tepla, vnější povrchová teplota, relativní vlhkost v konstrukci

Abstract

The thesis is focused on internal building insulation. Suitability of the insulation is tested on historic apartment building, located in Prague - Vinohrady.

The document is divided into 5 basic chapters: the first two consist of literature review and focus mainly on the internal insulation systems and technical evaluation that are linked to the mentioned building. The thesis focuses mainly on original building state modelling and internal insulation solution. The computations cover partial building constructions. 3D modelling was performed in COMSOL Multiphysics.

Keywords

Reconstruction, historic buildings, internal insulation, the outer surface temperature, relative humidity in the structure

Obsah

1. ÚVOD.....	9
2. VNITŘNÍ ZATEPLENÍ	10
2.1. RIZIKA VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ	11
2.1.1. Průběh teplot v konstrukci	11
2.1.2. Teplotní dilatační pohyby.....	11
2.1.3. Tepelné mosty.....	12
2.1.4. Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce	12
2.1.5. Tepelná akumulace a tepelná setrvačnost	13
2.1.6. Provádění zateplení	13
2.1.7. Finanční náklady.....	13
2.2. SYSTÉMY VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ	14
2.2.1. Rigips – Rigitherm	14
2.2.2. Ytong – Multipor.....	15
2.2.3. Kingspan – Kooltherm.....	16
2.2.4. Redstone – Pura.....	18
2.2.5. CIUR a.s. – UdiIN RECO	19
2.2.6. Aerorock ID	20
3. STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM	21
3.1. POPIS A HISTORIE OBJEKTU	21
3.2. POPIS KONSTRUKCÍ	22
3.2.1. Základové konstrukce	22
3.2.2. Svislé konstrukce.....	22
3.2.3. Vodorovné konstrukce	23
3.2.4. Okenní a dveřní výplně.....	23
3.2.5. Krov.....	23
3.3. STANOVENÍ VLHKOSTI ZDIVA V SUTERÉNU	24
3.3.1. Vyhodnocení měření vlhkosti zdiva.....	25
3.4. ROZBOR MIKROORGANISMŮ ZE ZDIVA V SUTERÉNU	26
3.4.1. Odběr vzorků.....	27
3.4.2. Práce v laboratoři	27
3.4.3. Vyhodnocení výsledků.....	28
3.5. STANOVENÍ VLHKOSTI TRÁMŮ V KROVU	29
3.5.1. Postup měření.....	29
3.5.2. Vyhodnocení výsledků.....	29

3.6.	TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ OBJEKTU	30
4.	POPIS HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ A VÝPOČTOVÝCH 3D MODELŮ	33
4.1.	POPIS HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ	33
4.1.1.	<i>Svislé konstrukce</i>	33
4.1.2.	<i>Vodorovné konstrukce</i>	33
4.1.3.	<i>Arkýř</i>	35
4.2.	POPIS 3D MODELU	36
4.3.	POPIS POUŽITÉHO ZATEPLENÍ	40
4.4.	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	43
4.4.1.	<i>Výpočet ekvivalentní tepelné vodivosti vzduchu v dutině</i>	44
4.4.2.	<i>Výplně otvorů</i>	44
5.	1D VÝPOČTY	46
5.1.	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	46
5.2.	POŽADAVKY ČSN EN 73 0540.....	46
5.3.	VÝPOČET SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA	48
5.4.	1D VÝPOČET – USTÁLENÝ STAV	51
5.4.1.	<i>Skladba CPP tl. 450 mm</i>	51
5.4.2.	<i>Skladba CPP tl. 750 mm</i>	52
5.4.3.	<i>Skladba děrované cihly tl. 300 mm</i>	53
5.4.4.	<i>Skladba CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm</i>	54
5.4.5.	<i>Skladba CPP tl. 750 mm + UdiReco tl. 80 mm</i>	55
5.4.6.	<i>Skladba děrované cihly tl. 300 mm + UdiReco tl. 80 mm</i>	57
5.5.	1D VÝPOČET – NEUSTÁLENÝ STAV	60
5.5.1.	<i>Množství kondenzátu ve vrstvě vnitřního zateplení</i>	60
5.6.	VYHODNOCENÍ 1D VÝPOČTŮ.....	63
5.6.1.	<i>Skladba CPP tl. 450 mm</i>	63
5.6.2.	<i>Skladba CPP tl. 750 mm</i>	65
5.6.3.	<i>Skladba děrovaných cihel tl. 300 mm</i>	67
6.	VÝPOČET 3D MODELŮ	69
6.1.	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	70
6.2.	PŮVODNÍ STAV.....	71
6.2.1.	<i>Povrchové teploty</i>	71
6.2.2.	<i>Relativní vlhkosti</i>	73
6.2.3.	<i>Zhlaví trámů</i>	75
6.2.4.	<i>Tepelné toky</i>	76
6.3.	MODEL S PŘERUŠENOU TEPELNOU IZOLACÍ	78

6.3.1.	<i>Povrchové teploty</i>	78
6.3.2.	<i>Relativní vlhkosti</i>	80
6.3.3.	<i>Zhlaví trámů</i>	82
6.3.4.	<i>Tepelné toky</i>	83
6.4.	MODEL S PRŮBĚŽNOU TEPELNOU IZOLACÍ	85
6.4.1.	<i>Povrchové teploty</i>	85
6.4.2.	<i>Relativní vlhkosti</i>	87
6.4.3.	<i>Zhlaví trámů</i>	89
6.4.4.	<i>Tepelné toky</i>	91
6.5.	RELATIVNÍ VLHKOST V KONSTRUKCI	93
6.5.1.	<i>Výpočty v programu COMSOL Multiphysics</i>	93
6.5.2.	<i>Výpočty v programu Area 2014</i>	95
6.6.	VYHODNOCENÍ 3D VÝPOČTŮ	97
6.6.1.	<i>Povrchové teploty</i>	97
6.6.2.	<i>Relativní vlhkosti</i>	98
6.6.3.	<i>Zhlaví trámů</i>	100
6.6.4.	<i>Tepelné toky</i>	101
7.	ZÁVĚR	102
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	104
	SEZNAM OBRÁZKŮ	106
	SEZNAM TABULEK	110
	SEZNAM GRAFŮ	111
	SEZNAM PŘÍLOH	111

1. Úvod

V posledních letech se klade mnoho otázek ohledně tepelné ochrany budov, se kterou souvisí nejen úspory dodané energie na vytápění, zvyšující se ceny energií, ale i kvalita vnitřního mikroklimatu, obnovitelná energie a ochrana životního prostředí. Veškeré tyto aspekty většinou vedou nejen k zateplování novostaveb, ale i objektů stávajících. Při zateplování objektů většinou převažuje vnější zateplení, které nelze využít u historických objektů, kde je nutnost zachovat historický vzhled objektu. Pro tento případ je vhodné zvolit systém vnitřního zateplení.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem vnitřního zateplení u činžovního bytového domu v Praze. Návrh vnitřního zateplení je proveden ve dvou variantách – s přerušenou tepelnou izolací v místě stropní konstrukce a s průběžnou tepelnou izolací. Pro návrh zateplení je použit systém UdiIN RECO.

Návrh vnitřního zateplení sebou nese mnoho problémů. Tyto problémy jsou popsány v kapitole 2. Součástí této kapitoly je i stručný přehled systémů pro vnitřní zateplení, které jsou na trhu dostupné.

Protože vnitřní zateplení, se provádí především na historických objektech, které skrývají mnoho vad, poruch a nedodělků, je nutné, aby návrhu vnitřního zateplení předcházela stavební průzkum objektu. Proto byla vypracována kapitola 3, která se zabývá stavebním průzkumem zvoleného objektu. V kapitole 4 už jsou pak popsány jednotlivě hodnocené konstrukce a hodnocené 3D modely.

Kapitoly 5 a 6 se zabývají analýzou původního stavu objektu a následně i analýzou po zateplení objektu ve dvou variantách. Pro zateplení byl zvolen systém UdiIN RECO, který je tvořený dřevovláknitou izolací. Kapitola 5 obsahuje 1D výpočty jednotlivých konstrukcí a následně jejich posouzení s ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Na tuto kapitolu navazují výpočty a vyhodnocení 3D modelů v kapitole 6.

2. Vnitřní zateplení

Vnitřní zateplení je často označováno jako jediné možné řešení jak snížit energetickou náročnost budovy a přesto zachovat její historický ráz. Tedy u objektů, které jsou v chráněné památkové zóně, kde jakýkoliv zásah do fasády není možný.

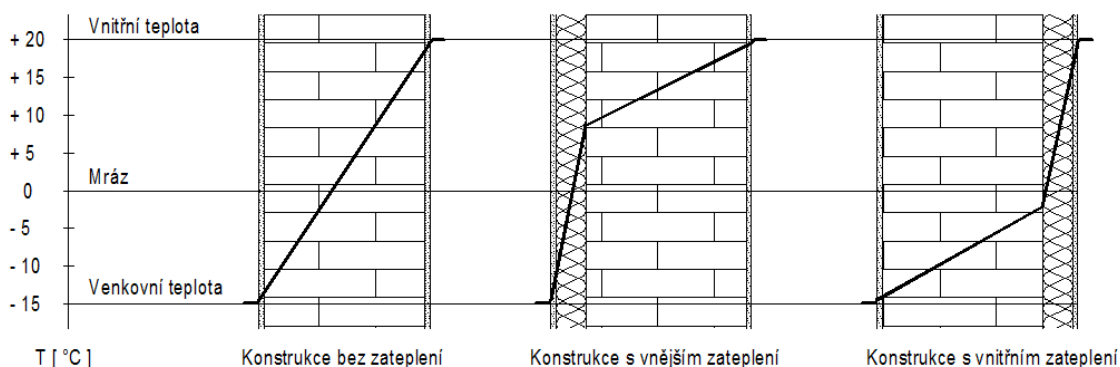
Vnitřní zateplení má oproti vnějšímu zateplení mnoho nevýhod a problémů, které se musí řešit ještě před začátkem samotné realizace zateplení. Stavitelé a projektanti mají k této variantě zateplení oprávněné výhrady, které vycházejí především ze špatných zkušeností s polystyrenem, který nemá pro tento typ zateplení vhodné parametry. Velká část realizací dopadla tak, že v konstrukcích vznikaly poruchy, které způsobily tvorbu plísní. Zároveň je odstranění těchto poruch velmi nákladné. Tomuto nevhodnému řešení se špatně zvoleným materiálem, lze předejít použitím difuzně otevřených materiálů. [1]

Vzhledem ke stále častěji opakované otázce, zda je možné v objektu provést vnitřní zateplení, dochází ke zdokonalování výrobků pro možnost použití tohoto systému zateplení a hledání vhodné technologie výroby a provedení. Zároveň se hledá taková technologie, která bude levná, rychlá a bude mít dostatečnou životnost. Protože jsou na našem území velmi rozdílné klimatické podmínky a v podstatě každá stavba je unikátní (ať už svojí konstrukcí nebo svým provozem), musí být i samostatně posouzena a vybrán pro ni vhodný typ materiálu. Nelze tedy systém vnitřního zateplení unifikovat. [2]

2.1. Rizika vnitřního zateplení

2.1.1. Průběh teplot v konstrukci

Při provedení vnitřního zateplení se v zimním období posunou nízké teploty k vnitřnímu líci konstrukce. Nulová teplota se tedy přenesse ze středu původní konstrukce do oblasti, kde dochází ke styku původní konstrukce a vnitřního zateplení. V zimním období se původní konstrukce tedy výrazně ochlazuje, oproti tomu v letním období dochází k přehřívání původní konstrukce. Díky tepelným mostům se pak mohou tyto extrémní teploty přenášet na vnitřní povrch konstrukce. Tím může dojít v zimním období ke snížení povrchových teplot pod teplotu rosného bodu a kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu konstrukce. Díky tomuto jevu dochází ke vzniku a rozvoji plísní na tomto povrchu. [3]



Obr. 1 – Průběh teplot v konstrukci s kondenzační zónou [3]

Díky posunutí nulové teploty až na rozhraní původní konstrukce a vnitřní tepelné izolace, kdy je původní konstrukce vystavena extrémním teplotám, dochází ke snížení její trvanlivosti a funkce. [4]

2.1.2. Teplotní dilatační pohyby

Při teplotním namáhání konstrukce dochází k teplotní roztažnosti materiálu, která způsobí dilatační pohyby v konstrukci. U vnitřního zateplení dochází v původní konstrukci k větším rozdílům teplot během roku, a proto jsou dilatační pohyby větší. Z důvodu rozpínání a smršťování původní konstrukce, jsou namáhány i všechny její další napojení na ostatní konstrukce. Tento fakt má vliv na trvanlivost konstrukce, kdy může dojít k jejímu snížení a může vést ke vzniku poruch. [3]

2.1.3. Tepelné mosty

Při zateplení objektu by mělo dojít k minimalizaci tepelných mostů a snažit se dosáhnout celistvosti tepelně izolační obálky. Bohužel v případě vnitřního zateplení je nemožné těchto požadavků dosáhnout. Při vnitřním zateplením jsou všechny navazující konstrukce v místnosti (stropy, vnitřní příčky a stěny) brány jako tepelné mosty. Kromě stavebních konstrukcí, to jsou i veškeré kovové předměty, které zasahují do vnitřní tepelné izolace, jako jsou konzoly nesoucí topný systém, připevnění poliček a jiných bytových doplňků. [3]

Ve snaze eliminovat tepelné mosty, jsou navazující konstrukce zateplovány klínovými deskami, kdy dochází k deformaci tvaru místnosti. V případě zhlaví trámů, je problém v zateplení dutiny, kdy dochází k odříznutí od zdroje tepla v zimě a v létě od konstrukcí, které by trámové zhlaví ochlazovaly. Pokud se použije nenasákavý tepelně izolační materiál, není zajištěn odvod zkondenzované vody od zhlaví trámu, což může způsobit destrukci stropu. [5]



Obr. 2 – Klínová deska pro izolaci tepelného mostu [5]

2.1.4. Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce

V nejmraznějším období roku dochází ve stavebních konstrukcích ke kondenzaci vodní páry, která se v letním období vypaří. U jednovrstvé obvodové stěny je kondenzační zóna přibližně uprostřed konstrukce. [3]

Při použití vnitřního zateplení se kondenzační zóna posouvá ze středu původní konstrukce do oblasti, kde dochází ke styku původní konstrukce a vnitřního zateplení. Zároveň se množství kondenzátu zvyšuje a prodlužuje se období kondenzace. Na základě toho může vzniknout situace, kdy se vodní pára nestačí v letním období vypařit a dochází k postupnému hromadění vlhkosti. Posunutím kondenzační zóny může dojít k destrukci zde uložených materiálů, především těch ze dřeva (zhlaví stropních trámů, podlahy). Tento problém se řeší použitím parozábrany při vnějším povrchu, kterou mů-

že být tenká fólie nebo deskové materiály, které brání pronikání vzdušné vlhkosti do stavební konstrukce. [3]

Větší množství kondenzátu může způsobit u uživatelů zdravotní problémy a většinou vede k destrukcím stavební konstrukce. [3]

2.1.5. Tepelná akumulace a tepelná setrvačnost

Teplené izolanty jsou lehké, a proto mají i nízkou tepelně akumulaci schopnost. Původní vyšší tepelně akumulaci schopnost původní konstrukce je tepelnou izolací odcloněna. Po přerušení dodávky tepla místnosti rychleji vychladnou, ale naopak je lze rychleji vyhřát, což je výhodou u objektů, které jsou méně využívány. Přes den nelze do vnitřní zateplené konstrukce naakumulovat solární zisky, proto se nepatrně prodlouží topné období. Při využití materiálů s vyšší akumulaci schopností lze dosáhnout až 15% úspory tepla na vytápění, než při využití materiálů s nižší akumulaci schopností. Zároveň v letním období dochází, vlivem využití materiálů s nižší akumulaci schopností, k přehřívání místností. [3]

2.1.6. Provádění zateplení

Vnitřní zateplení není závislé na počasí a lze ho provádět kdykoliv. Výhodou je i možnost zateplení jednotlivých místností zvlášť. V průběhu provádění je však omezena možnost užívání bytu či místnosti, ve které je zateplení prováděno. S aplikací vnitřního zateplení dojde ke zvětšení tloušťky stěn, musí se tedy předělat osazení nosičů záclon a osazení topného systému do větší vzdálenosti od stěny. Se zvětšením tloušťky stěn zároveň dojde i ke zmenšení vnitřních ploch zateplováných místností. [3]

2.1.7. Finanční náklady

Z hlediska stavebních úprav místností jsou investiční výdaje většinou vyšší než u vnějšího zateplení. Dále je také nutno pečlivě řešit a vyloučit tepelné mosty, díky kterým je zvýšené riziko vzniku vad a poruch a jejich případná sanace by převýšila vypočítanou úsporu. Kvůli menší akumulaci izolačních materiálů jsou u vnitřního zateplení vyšší provozní náklady než u zateplení vnějšího. Investiční i provozní náklady u vnitřního zateplení jsou tedy vyšší než u vnějšího zateplení. [3]

2.2. Systémy vnitřního zateplení

2.2.1. Rigips – Rigitherm

Jednou z možností vytvoření účinné tepelně izolační obálky je systém vnitřního zateplení Rigitherm. Je to systém, jehož základem je sendvičová deska Rigitherm. Ta je tvořena sádkartonovou deskou s vrstvou tepelné izolace z elastifikovaného polystyrenu Rigifloor 4000. [6]

Tento způsob vnitřního zateplení staveb je nejvíc oblíbený ve vyspělých státech, kterými jsou například Francie nebo Belgie. V těchto zemích nese název Doublage. Tento systém se využívá především u novostaveb ze skořepinových betonových tvárnic, kvůli velkému množství kondenzace vody. Není proto vhodný pro stavby, kde jsou použity dřevěné stropy. [6]

Desky se lepí pomocí lepicího tmelu ve formě terčů k podkladu. Terče jsou vzdáleny 300 – 350 mm o tloušťce 10 – 40 mm. Pro zateplení se používají desky, které jsou o 15 – 20 mm kratší než je světlá výška místnosti. Desky jsou lepeny tak, že u podlahy a u stropu vzniknou přibližně 10 mm mezery, které se po zatmělení spár vyplní PUR pěnou. Tím dojde k dokonalému utěsnění. [6]



Obr. 3 – Aplikace systému Rigips – Rigitherm [7]

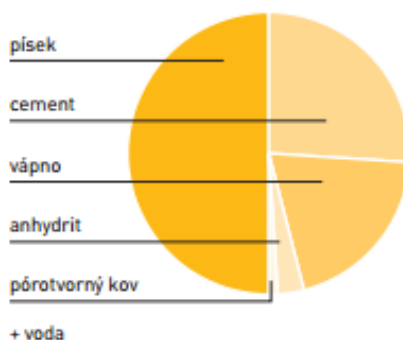
Tab. 1 – Parametry systému Rigips – Rigitherm

Součinitel tepelné vodivosti	0,68 – 0,19 W/m.K
Faktor difuzního odporu	55
Objemová hmotnost	15
Pevnost v tlaku	0,1 MPa
Třída reakce na oheň	C1-B
Formát desky	2 600 x 1 200 mm
Tloušťky desky	20 – 200 mm

2.2.2. Ytong – Multipor

Tepelněizolační deska Multipor je kalcium silikátový materiál, při jehož výrobě je spotřebováno málo energie. Materiál je vytvrzován po dobu 10 hodin při teplotě 190 °C a tlaku 12 MPa. Neobsahuje žádné umělé či organické složky. Trvanlivost a funkci zaručují struktura a rozmístění anorganických minerálů s neomezenou životností. [8]

Složení Multiporu



Obr. 4 – Složení desek systému Ytong – Multipor [8]

Multipor představuje jedinečnou ukázkou technologických možností lehkého autoklávovaného betonu. Díky maximálnímu odlehčení mají desky Multipor dobré tepelněizolační vlastnosti. Multipor si zachovává důležité charakteristiky autoklávovaných betonů, jako jsou prodyšnost, lehké opracování, požární bezpečnost a šetrnost k životnímu prostředí. [8]

Vnitřní izolace pomocí systému Multipor se provádí lepením desek k podkladu. Lepicí malta se nanáší rovnoměrně po celé ploše desky ozubeným hladítkem. Celoplošné lepení je podmínkou správné funkce vnitřní izolace. Před lepením první řady desek je nutné zkontrolovat rovinnost podlah. Nerovnosti se vyrovnají těsnicí páskou u podlahy. Výrobce doporučuje založení na konopné pásce. Desky se ve styčných spojích me-

zi sebou nelepí. Malta, která zůstala na podkladu po posunu, se odstraní, aby nepřekážela při umístění další desky. Po uložení spodní řady se pokračuje v kladení desek po jednotlivých řadách ve vazbě směrem nahoru. Musí se dbát na to, aby mezi jednotlivými deskami nevznikaly spáry a aby se do spár na styku izolačních desek nedostala lepicí malta. Vzniklé mezery v zateplovací rovině je možné opravit pomocí odřezaných kusů desek. [8]



Obr. 5 – Aplikace systému Ytong – Multipor [9]

Tab. 2 – Parametry systému Ytong – Multipor

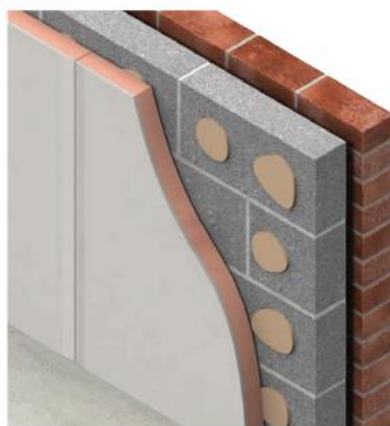
Součinitel tepelné vodivosti	0,045 W/m.K
Faktor difuzního odporu	3
Objemová hmotnost	110 – 115 kg/m ³
Pevnost v tlaku	0,3
Třída reakce na oheň	A1
Formát desky	600 x 390 mm, 600 x 500 mm
Tloušťky desky	50 – 200 mm

2.2.3. Kingspan – Kooltherm

Kingspan Kooltherm je interiérová izolační deska z rezolové pěny, která je opatřena na jedné straně povrchovou úpravou na bázi skleněné tkaniny a na druhé straně uzavřenou izolační hliníkovou fólií, na níž je sádrokartonová deska o tloušťce 12,5 mm. Desky je možné rovněž dodat s izolační fólií na vnější straně. [10]

Vnitřní izolace pomocí systému Kooltherm se provádí lepením desek k podkladu. Lepidlo by se mělo nanášet minimálně 25 mm od vertikální vodící čáry, aby nedošlo k zatečení do spáry mezi deskami. Pro každou desku, která má rozměry 1 200 x 2 600 mm, by se mělo použít minimálně 18 terčů lepidla. Celková plocha kontaktu mezi lepidlem a povrchem desky by měla být alespoň 20 % povrchu desky. Desky Kingspan Kooltherm by měly být ukládány natěsno vedle sebe. Mezery větší než 3 mm musí být vyplněny sádrou. Po přilepení se na každou desku přidají nejméně 2 nabíjecí šrouby (pozinkované ocelové hřebíky s rozšiřitelným plastovým pouzdrem). Šrouby by měly být instalovány ve vzdálenosti 15 mm od každého okraje desky. Šrouby musí být ukotveny nejméně 25 mm do nosné konstrukce. V rozích místnosti, vodorovně podél podlahy a stropní linie se použije lepicí páska, která udržuje celistvost izolace. Lepicí pásku je také nutné použít po obvodu výplní otvorů a v místech kde budou instalovány radiátory a garniže. Přelepené spoje desek by se měli přetmelit a poté přestěrkovat. [11]

Mezera, která vznikne mezi podlahou a izolací se vyplní expandující tepelněizolační pěnou a flexibilním akrylovým tmelem na bázi vody pod sádrokartonovou deskou. [11]



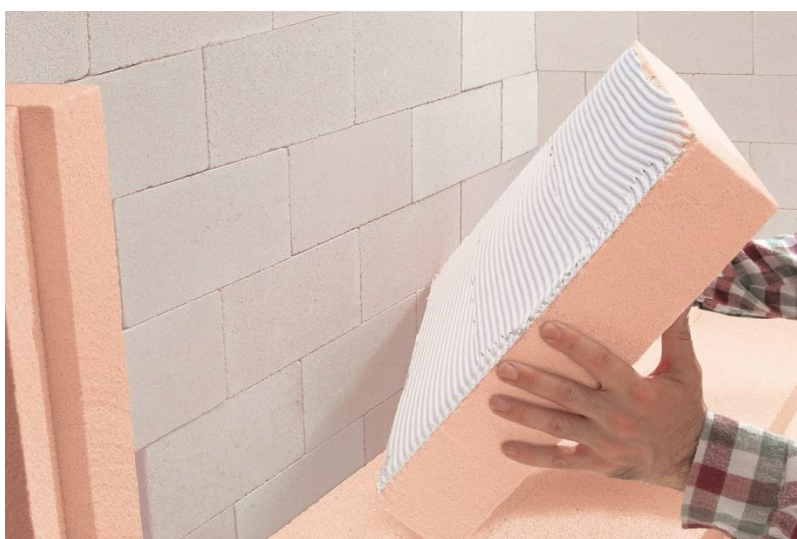
Obr. 6 – Aplikace systému Kingspan – Kooltherm [10]

Tab. 3 – Parametry systému Kingspan – Kooltherm

Součinitel tepelné vodivosti	0,02 W/m.K
Faktor difuzního odporu	583
Objemová hmotnost	30 + SDK kg/m ³
Pevnost v tlaku	0,1 MPa
Třída reakce na oheň	B-s1, d0
Formát desky	2 600 x 1 200 mm
Tloušťky desky	50 – 120 mm

2.2.4. Redstone – Pura

Jedná se o desky, které obsahují křemičitan vápenatý s přísadky jílu. Materiál je vyráběn na přírodní bázi bez přidání umělých vláken, zpeňovačů a přísad hliníku. Využitím kapilárně aktivního materiálu, si systém dokáže poradit se vznikem kondenzátu v zimním období. [12]

**Obr. 7 – Aplikace systému Redstone – Pura [12]****Tab. 4 – Parametry systému Redstone – Pura**

Součinitel tepelné vodivosti	0,045 – 0,042 W/m.K
Faktor difuzního odporu	5
Objemová hmotnost	130 kg/m ³
Pevnost v tlaku	0,36 N/mm ²
Třída reakce na oheň	A1
Formát desky	580 x 380 mm
Tloušťky desky	50, 60, 80, 100, 120 mm

2.2.5. CIUR a.s. – UdiIN RECO

Jedná se o aktivní vnitřní izolaci z dřevěných vláken. Systém je vhodný pro budovy, které nemohou být zatepleny z vnější strany. Zároveň je vhodný i pro objekty s nestálým provozem, protože umožňuje rychlé a efektivní vytopení. Součástí systému je speciální stěrka UdiMULTIGRUND, která reguluje množství vodní páry. Systém UdiIN RECO je kapilárně aktivní a difuzně otevřený. Vzniklý kondenzát je ukládán uvnitř a díky přirozenému vysychání dřevěných vláken opět předáván do prostředí v místnosti nebo je díky kapilární vodivosti transportován ven z konstrukce. [13]

Systém je tvořen jako sendvičový systém na bázi dřevěného materiálu. Skládá se z tuhé nosné desky tloušťky 40 mm, která je určena k omítání a flexibilní části, která je přikládána na zed'.

Tyto dřevovláknité izolační desky jsou připevňovány k podkladu pomocí speciálních nastavitelných hmoždinek přímo na podklad. Kladou se na vazbu a dutiny se díky flexibilní části izolace zarovnají, což zamezí vzniku orosení. Speciální vnitřní stěrka UdiMULTIGRUND se nanáší s výztužnou tkaninou v minimální tloušťce 5 mm. Zajištění celistvosti systému je pomocí pera a drážky po celém obvodu. [13]



Obr. 8 – Aplikace systému UdiIN RECO [13]

Tab. 5 – Parametry systému UdiIN RECO – flexibilní/omítací část

Součinitel tepelné vodivosti	0,038/0,048 W/m.K
Faktor difuzního odporu	1/5
Objemová hmotnost	50/250 kg/m ³
Pevnost v tlaku	-
Třída reakce na oheň	-
Formát desky	1 300 x 790 mm
Tloušťky desky	80 – 200 mm

2.2.6. Aerorock ID

Jedná se o kombinaci minerální vlny a aerogelu. Vyrábí se desky o rozměrech 1 200 x 600 mm o tloušťce 20 nebo 40 mm v kombinaci se sádkartonem, který chrání aerorock před poškozením. Díky vysoké ceně se používá minimálně, především tam kde jsme omezeni tloušťkou. [14]



Obr. 9 – Aplikace systému Aerorock [14]

3. Stavebně technický průzkum

3.1. Popis a historie objektu

Objekt bytového domu Řipská 1677/27 se nachází na parcele č. 2741 v katastrálním území Vinohrady [554782] a je umístěn v památkové zóně. Objekt je ve vlastnictví Bytového družstva vlastníku domu Řipská 27.



Obr. 10 – Katastrální mapa [15]

Objekt leží na křižovatce ulic Vinohradská a Řipská, hlavní vchod do objektu je z ulice Řipská. Jedná se o rohový pětipodlažní bytový dům, který je podsklepený. Objekt byl postaven v roce 1913. V suterénu se nachází jednotlivé sklepní kóje. V přízemí objektu se nachází dva obchodní prostory, které mají své vlastní vchody. Ve 2. – 5.NP se nacházejí jednotlivé bytové jednotky. Celkem se v objektu nachází 12 bytových jednotek. Součástí objektu je vydlážděný dvůr směrem do vnitrobloku.



Obr. 11 – Pohled na objekt

3.2. Popis konstrukcí

3.2.1. Základové konstrukce

Objekt je nejspíše založen na základových pasech, které jsou vyžděny z lomového kamene.

3.2.2. Svislé konstrukce

Obvodové konstrukce jsou z cihel plných pálených. Jednotlivá tloušťka obvodových konstrukcí se v každém patře liší. Největší tloušťka obvodového zdiva je v suterénu 900 mm. Tloušťka obvodového zdiva v přízemí je 750 mm, následně se tloušťka obvodového zdiva po patrech zmenšuje o 75 mm. Tloušťka zdiva v posledním podlaží je 450 mm. Nosné vnitřní zdi v objektu jsou ve všech patrech vyžděny z cihel plných pálených o tloušťce 600 mm. Tyto zdi jsou průběžné přes všechna podlaží. Schodišťové zdi mají tloušťku 450 mm.

Příčky mezi místnostmi v jednotlivých bytech jsou z cihel plných pálených o tloušťce 150 mm. Tyto příčky nejsou průběžné přes všechna podlaží. V každém podlaží je příčka uložena na ocelový I profil.

Obvodové zdivo arkýře je z důvodu vylehčení konstrukce vyžděno z cihel děrovaných. Tloušťka tohoto zdiva je 300 mm.

3.2.3. Vodorovné konstrukce

V objektu se celkem nacházejí dva druhy stropních konstrukcí. Jako stropní konstrukce nad suterénem a prvním nadzemním podlažím jsou použity betonové stropní panely. V následujících nadzemních podlažích jsou dřevěné trámové stropy.

Betonové stropy jsou použity pouze nad prostory, kde je předpokládán mokrá provoz – koupelny a WC, dále pak nad společnými prostory. Betonové panely jsou vylehčeny dutinami a uloženy do travers.

Dřevěné trámové stropy jsou z požárního hlediska opatřeny násypem a záklopem. Tyto stropy jsou použity nad obytnými místnostmi.

3.2.4. Okenní a dveřní výplně

V objektu už se původní okenní výplně nenacházejí. Okna směrem do vnitrobloku byla vyměněna během roku 2001, jsou dřevěná s izolačním dvojsklem. Okna směrem do ulice byla vyměněna v roce 2002. Kvůli nutnému zachování původního historického vzhledu objektu, musela být použita okna špaletová. Na vnější straně se nachází izolační dvojsklo a na straně vnitřní je jednoduché zasklení.

Hlavní vstupní dveře do objektu jsou původní dřevěné dveře s jednoduchým zasklením. Vstupní dveře do obchodních prostorů jsou již vyměněny za nové.

3.2.5. Krov

Jedná se o krov, kde je použita vaznicová soustava se stojatou stolicí. Na prvcích krovu jsou vidět barevné rozdíly dřeva, nicméně tyto barevné rozdíly jsou nejspíše způsobeny působením vlhkosti v minulosti, v době průzkumu dřevo nevykazovalo známky vlhkosti. Pro jistotu, ale bylo provedeno měření vlhkosti v dřevěných prvcích krovu.



Obr. 12 – Krov



Obr. 13 – Krov

3.3. Stanovení vlhkosti zdiva v suterénu

V suterénu byl z části nosné zdi odebrán vzorek zdiva a omítky, které byly využity k měření vlhkosti ve zdivu. Ke stanovení vlhkosti byla použita gravimetrická metoda. Tato metoda je nejpoužívanější a nejpřesnější pro měření vlhkosti zdiva. Při této metodě je odebrán vzorek materiálu a zvážen ve vlhkém stavu, následně je vysušen a znovu zvážen. Z rozdílu hmotností je vypočtena procentuální vlhkost:

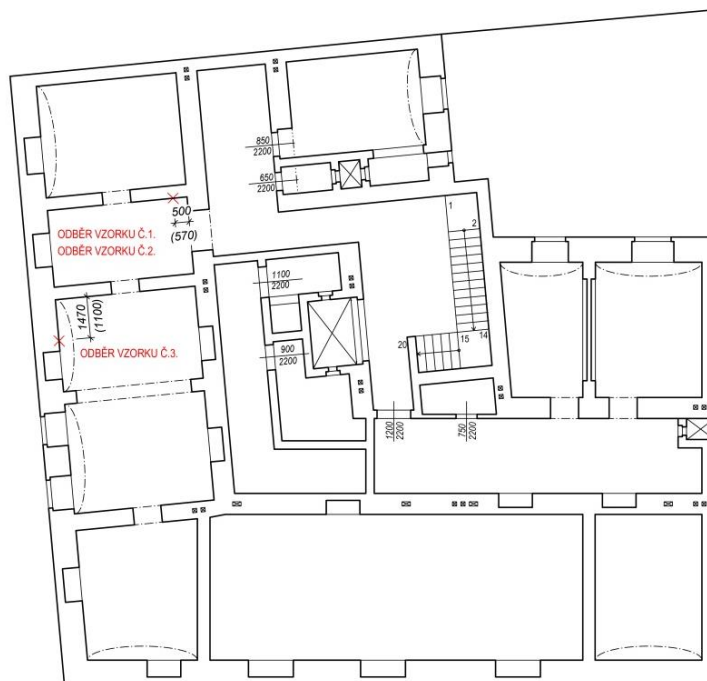
$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Dle ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb – sanace vlhkého zdiva – základní ustanovení je stanovena klasifikace vlhkosti zdiva v následující tabulce:

Tab. 6 – Klasifikace vlhkosti zdiva [16]

Vlhkost zdiva [%]	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

Celkem byly odebrány tři vzorky – jeden vzorek zdiva a dva vzorky omítky. Místa odběru jsou zakreslena v příloženém půdoryse na obr. 14.



Obr. 14 – Místa odběrů vzorků zdiva a omítky v 1. PP



Obr. 15 – Místo odběru vzorku č. 1. a č. 2.

Při odběru byly vzorky uzavřeny do odběrové nádoby a převezeny do materiálové laboratoře stavební tepelné techniky v budově UCEEB, kde proběhlo zvážení vlhkých vzorků, vysušení vzorků po dobu 11 dnů při teplotě 105 °C a následné zvážení vysušených vzorků.

3.3.1. Vyhodnocení měření vlhkosti zdiva

Po vysušení a zvážení vzorků byla stanovena jejich procentuální vlhkost, ze které vyplývá, že vzorky obsahují jen velmi malé množství vody. Tato skutečnost je možná dána i tím, že vzorky byly odebírány pouze z povrchových vrstev, kde je umožněno rychlejší vysychání materiálu.

Tab. 7 – Výsledky gravimetrické metody měření vlhkosti

Vzorek	Materiál	Hmotnost vlhkého vzorku	Hmotnost vysušeného vzorku	Množství vlhkosti w	Zatřídění
		[g]	[g]	[%]	
č. 1	Zdivo	46,639	46,429	0,45	Velmi nízká vlhkost
č. 2	Omítka	51,614	50,706	1,79	Velmi nízká vlhkost
č. 3	Omítka	21,638	20,637	4,85	Nízká vlhkost

3.4. Rozbor mikroorganismů ze zdiva v suterénu

Při stavebně technickém průzkumu objektu byl v jedné sklepní kóji objeven na suterénním zdivu vláknitý porost houbou. Pro stanovení druhu vláknitého porostu houbou byl odebrán vzorek a následně zkoumán v laboratoři.



Obr. 16 – Vlákňitý porost na zdi v suterénu



Obr. 17 – Vlákňitý porost na zdi v suterénu

3.4.1. Odběr vzorků

Pro odběr vzorků bylo zapotřebí těchto pomůcek: skalpel, pinzeta, odběrové nádoby a líh. Pomocí sterilního skalpelu a pinzety byly odebrány celkem 3 vzorky do tří odběrových nádobek.

3.4.2. Práce v laboratoři

V laboratoři byla pro indentifikaci mikroorganismů připravena do Petriho misek živná půda tzv. sladový agar, na který byly vzorky uloženy. Celkem byly vytvořeny tři vzorky.

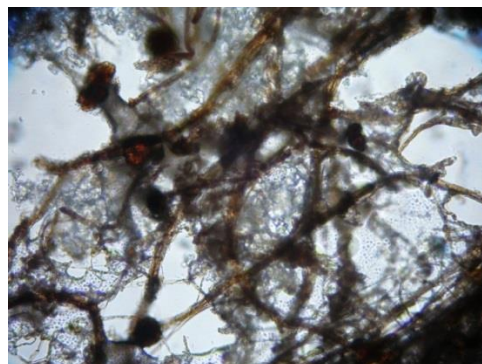
Vzorek č. 1. – byl proveden prostým položením na sladový agar do Petriho misky.

Vzorek č. 2. – byl proveden opálením v plamenu, díky kterému zabráníme růstu mikroorganismů a poté položen na sladový agar do Petriho misky.

Vzorek č. 3. – byl nejprve opálen v plamenu a poté namočen v destilované vodě, následně byl položen na sladový agar do Petriho misky.



Obr. 18 – Vzorek č.1. v Petriho misce



Obr. 19 – Pohled na vzorek č. 1 v mikroskopu

Všechny vzorky byly uloženy ke kultivaci do skříňového termostatu po dobu 28 dní. V termostatu je udržovaná teplota 22 °C a vlhkost 100 %.

3.4.3. Vyhodnocení výsledků

Po 28 dnech kultivace byly vzorky vyndány z termostatu a mikroskopem byl proveden průzkum mikroorganismů.



Obr. 20 – Vzorek č. 1, 2 a 3 po kultivaci v Petriho misce

Při průzkumu částí vzorku pod mikroskopem bylo zjištěno, že se jedná o dřevomorku, ale jak je vidět i z výše přiložených fotek vzorků na obr. 20 nedošlo k jejímu růstu. Dřevomorka je tedy neaktivní, to ale neznamená, že by nemohlo dojít k růstu během následujících pár měsíců či let při zvýšené vlhkosti v suterénu. Dřevomorka je nejspíše pozůstatek toho, kdy v suterénu byly sklepní kóje rozděleny pomocí dřevěných konstrukcí nebo mohlo být ve sklepní kóji skladováno dřevo.

3.5. Stanovení vlhkosti trámů v krovu

3.5.1. Postup měření

Vlhkost v prvcích krovu byla měřena tzv. odporovým vlhkoměrem se zarážecími elektrodami – typ vlhkoměru: Hygrotest 6500.



Obr. 21 – Vlhkoměr Hygrotest 6500

Pro měření bylo vybráno více míst, která nevykazovala žádná porušení (suky a trhliny). Měření proběhlo vždy ve dvou směrech, kolmo na vlákna a rovnoběžně s vlákny tak, že sonda byla zarážena do dřeva pomocí „kladiva“ vlhkoměru. Byla provedena korekce přístroje podle teploty – 20°C a druhu dřeviny – smrk.

3.5.2. Vyhodnocení výsledků

Na základě měření vlhkosti jednotlivých prvků v krovu pomocí odporového vlhkoměru nebylo zjištěno, že by jednotlivé prvky krovu vykazovaly větší známky vlhkosti. Průměrná vlhkost prvků vyšla pod 15 %, což odpovídá hodnotě pro vysušené dřevo.

Tab. 8 – Vlhkost vzorků v krovu

Prvek	Vlhkost		Ø Vlhkost		
	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna	Ø
1 Vazný trám	13,6	13,2	12,1	11,8	11,9
	10,5	10,3			
2 Vazný trám	11,5	11,2	11,7	11,6	11,6
	11,8	12,0			
3 Kleština	12,7	13,0	11,9	11,9	11,9
	11,1	10,7			
4 Pozednice	13	12,1	12,5	11,8	12,2
	12	11,5			
5 Pozednice	11,2	11,2	10,6	10,8	10,7
	10	10,4			

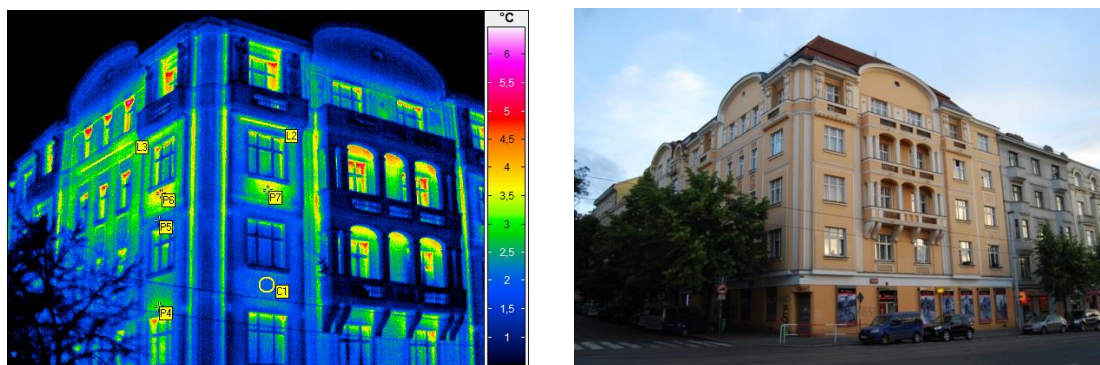
3.6. Termovizní měření objektu

Během zimního období byly pořízeny snímky objektu termovizní kamerou Inspect HD 880 od společnosti Infratec.

Pro termovizní měření musely být splněny podmínky ideálního počasí, to znamená zatažená obloha, bez přímého osvětlení slunečním zářením, bez sněhových a dešťových srážek. Měření pak probíhalo při venkovní teplotě 2,3 °C a vnitřní teplotě 22 °C. Samotnému měření předcházelo správné nastavení termokamery, bez kterého by výsledky měření byly zkreslené. Teplota na jednotlivých snímcích je zobrazena vždy při pravém okraji snímku.

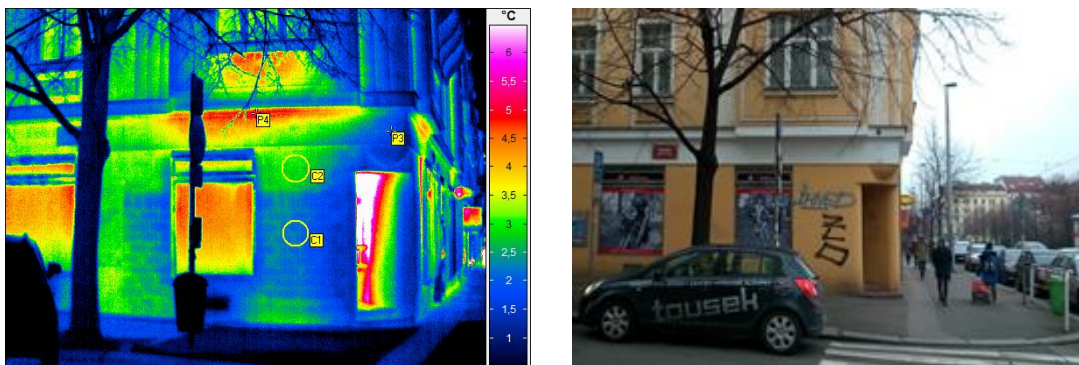
Tab. 9 – Parametry termovizního měření

Venkovní teplota	θ_e	[°C]	2,3
Vnitřní teplota	θ_i	[°C]	22
Relativní vlhkost exteriéru	φ_e	[%]	80
Relativní vlhkost interiéru	φ_i	[%]	60
Emisivita povrchu	ε	[-]	0,93



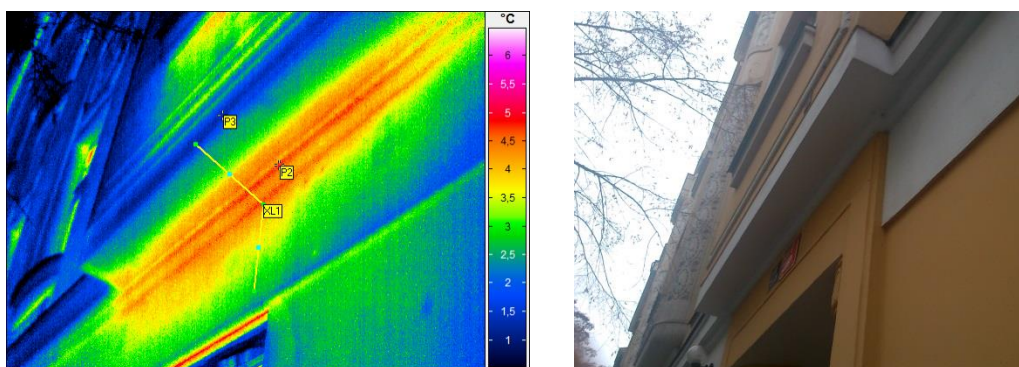
Obr. 22 - Termovizní snímek - pohled na objekt

Snímek zachycuje celkový pohled na objekt. Je vidět, že k největším rozdílům teplot dochází u styku okenních otvorů a obvodových konstrukcí. Povrchová teplota fasády v bodě C1 je 2,02 °C, v bodě P6 je 3,84 °C a v bodě P7 je to 3,08 °C. Tyto rozdíly teplot jsou způsobeny nejspíše tím, že pod okny jsou umístěna otopná tělesa. Nad okny v místě překladů jsou také vidět teplotní rozdíly, protože okenní překlady jsou tvořeny ocelovými I profily.



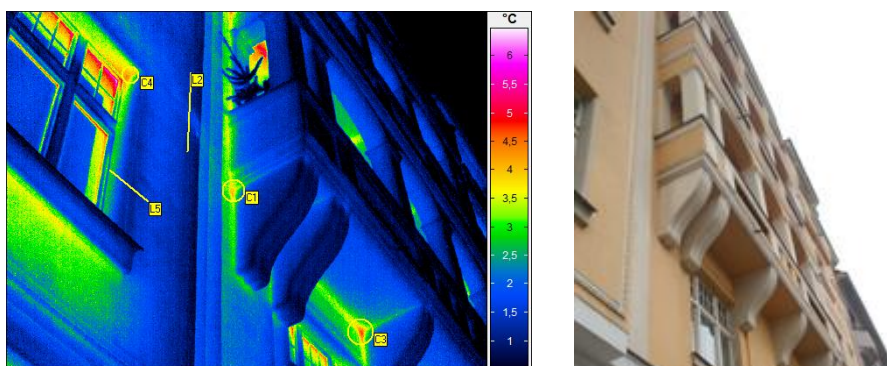
Obr. 23 – Termovizní snímek – pohled na 1. NP

Snímek zachycuje část prvního podlaží, kde se nacházejí obchodní prostory. Průměrná teplota obvodového zdiva v bodě C1 je 2,15 °C, v bodě C2 je 2,83 °C. Tento rozdíl teplot může být způsoben například tím, že ze strany interiéru je něco ke stěně přiloženo (např. regály). V místě napojení arkýře je vidět tepelný most a dochází tak k úniku tepla, teplota v bodě P4 je 4,94 °C.



Obr. 24 – Termovizní měření – detail arkýř

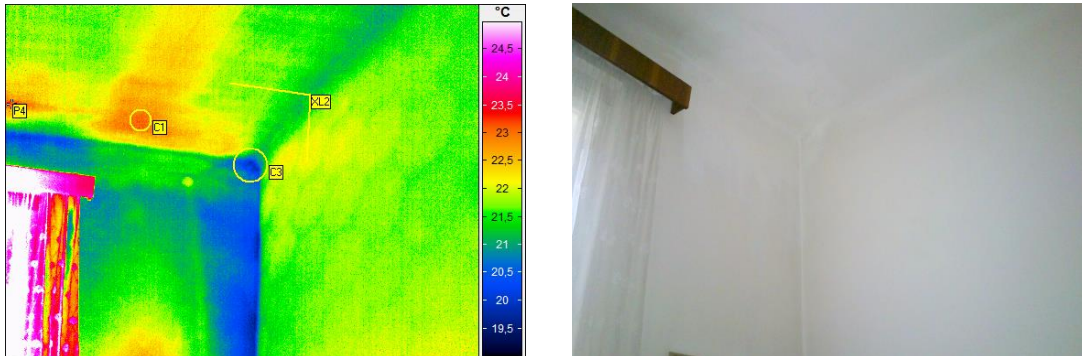
Snímek zachycuje detailněji rozdíl teplot u napojení arkýře na obvodovou stěnu. Teplota v bodě P2 je 4,65 °C a v bodě P3 je 1,56 °C. Rozdílu teplot je vidět, že v místě napojení arkýře na obvodovou stěnu vzniká velký tepelný most.



Obr. 25 – Termovizní měření – detail balkónu

Snímek zachycuje rozdíly tepla na severní fasádě objektu v místě balkónu. Průměrná teplota v bodě C1 je 3,08 °C a v bodě C3 je 3,25 °C, v napojení balkónu na fasá-

du objektu je možné vidět znatelný únik tepla. Dále je vidět znatelné navýšení teploty v místě okenního otvoru, průměrná teplota v bodě C4 je 3,56 °C. V bodě L2 je na fasádě vidět snížená teplota 1,27 °C. V tomto místě je uložen nadokenní překlad, který je tvořen pomocí ocelového I profilu



Obr. 26 – Termovizní snímek – roh stropu v interiéru

Snímek zachycuje rozdíly teplot mezi vnitřní příčkou, obvodovou stěnou a stropem pod půdou. Minimální teplota u stropu v rohu místnosti, označena bodem C3 je 19,70 °C. Průměrná teplota stropu v bodě XL2 je 21,68 °C. V místě C1 je průměrná teplota stropu 22,98 °C. Je vidět, že v tomto místě je uložen stropní trám a proto je teplota zvýšená. Na obvodové stěně je vidět, že povrchová teplota je větší než by se očekávalo, protože z exteriéru je fasáda zdobena sochou.

4. Popis hodnocených konstrukcí a výpočtových 3D modelů

Pro detailnější popis a bližší seznámení s hodnocenými konstrukcemi dopomohla kniha Stavba domu v praxi – díl I a díl II. Oba díly knihy se zabývají provedením stavby domu z 30 let minulého století.

4.1. Popis hodnocených konstrukcí

4.1.1. Svislé konstrukce

Obvodové konstrukce jsou z cihel plných pálených. Jednotlivá tloušťka obvodových konstrukcí se v každém patře liší. Tloušťka obvodového zdiva v přízemí je 750 mm, následně se tloušťka obvodového zdiva po patrech zmenšuje o 75 mm. Tloušťka zdiva v posledním podlaží je 450 mm.

Příčky mezi místnostmi v jednotlivých bytech jsou z cihel plných pálených o tloušťce 150 mm. Tyto příčky nejsou průběžné přes všechna podlaží, ale každá příčka je v podlaží uložena na ocelový I profil.

Svislé konstrukce jsou z exteriéru omítnuty vápenocementovou omítkou o tloušťce 20 mm a v interiéru je použita vápenná omítka o tloušťce 20 mm.

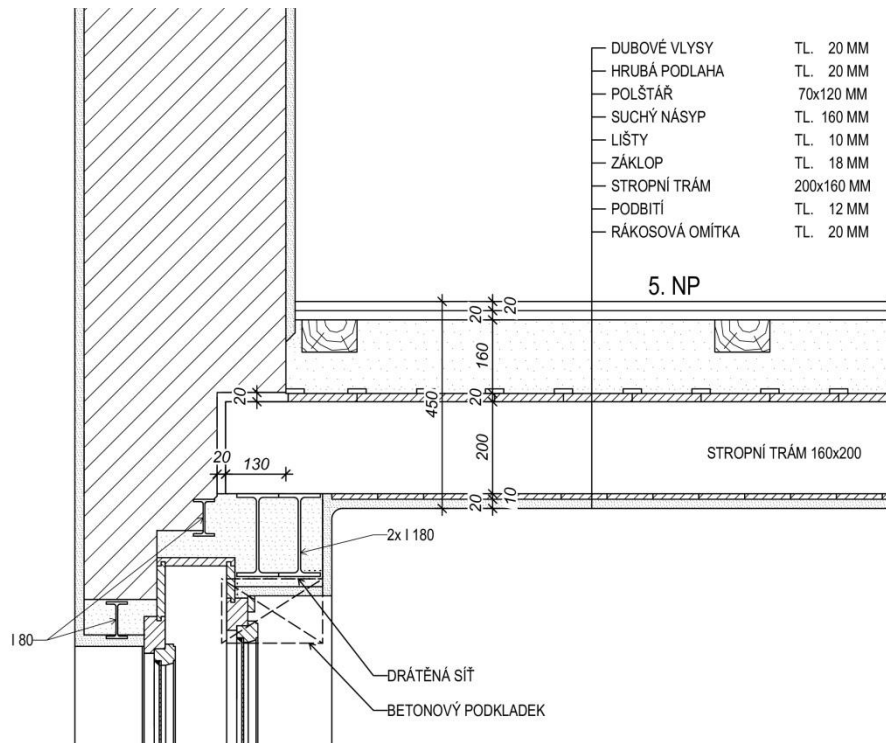
4.1.2. Vodorovné konstrukce

V objektu se celkem nacházejí dva druhy stropních konstrukcí. Jako stropní konstrukce nad prvním nadzemním podlažím jsou použity dutinové betonové stropní panely o tloušťce 100 mm. V následujících nadzemních podlažích jsou dřevěné trámové stropy.

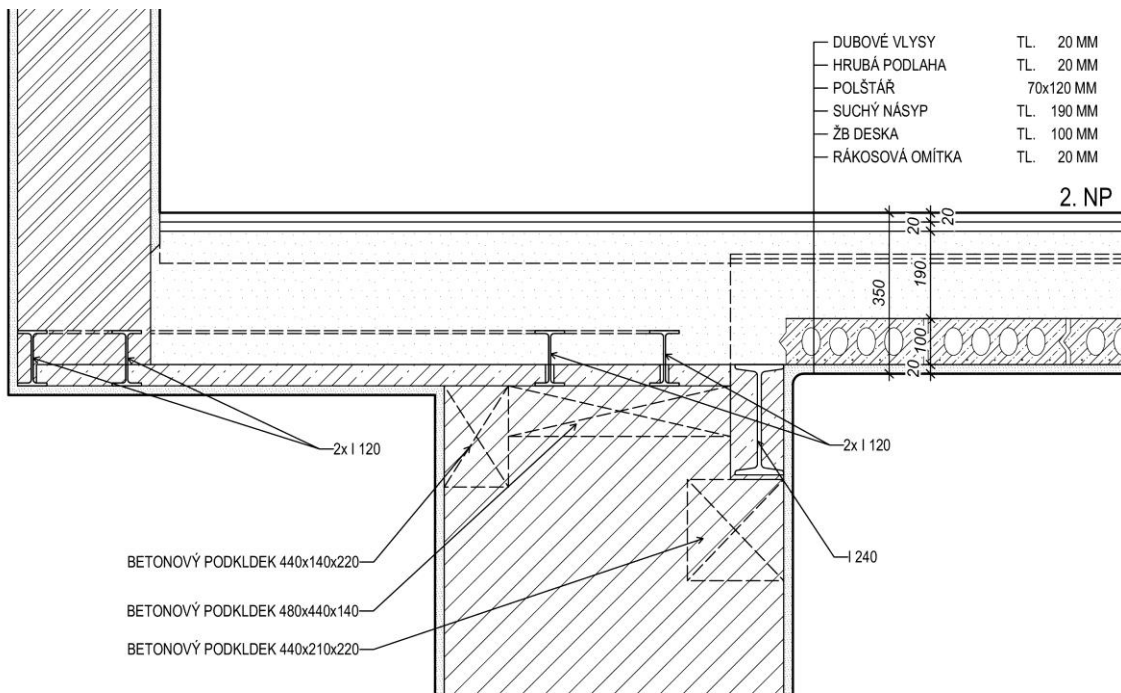
Betonové panely jsou vylehčeny dutinami a uloženy do travers. Na betonových panelech je nasypán suchý násyp o tloušťce 190 mm. V násypu jsou uloženy polštáře, které tvoří podkladní konstrukci pro podlahu. Podlaha je dřevěná. Celková tloušťka stropu i s podlahou je 350 mm. [17]

Dřevěné trámové stropy jsou z požárního hlediska opatřeny násypem a záklopem. Tyto stropy jsou použity nad obytnými místnostmi. Rozměr trámů je 160 x 200 mm, jsou od sebe vzdáleny v osové vzdálenosti 0,9 – 1 m. Krajní trám je od stěny procházející stropem uložen ve vzdálenosti 0,05 – 0,08 m. Násyp je pravděpodobně směs škváry a stavební suti. Podle pražských stavebních předpisů z období výstavby objektu musí být v minimální tloušťce 80 mm nad trámy. V násypu jsou pak uloženy v kolmém směru na trámy polštáře, které tvoří podkladní konstrukci pro podlahu. Pod-

laha je dřevěná. Strop je podbit prkenným podbitím a opatřen rákosovou omítkou. Celková tloušťka stropu i s podlahou je 450 mm. [17]



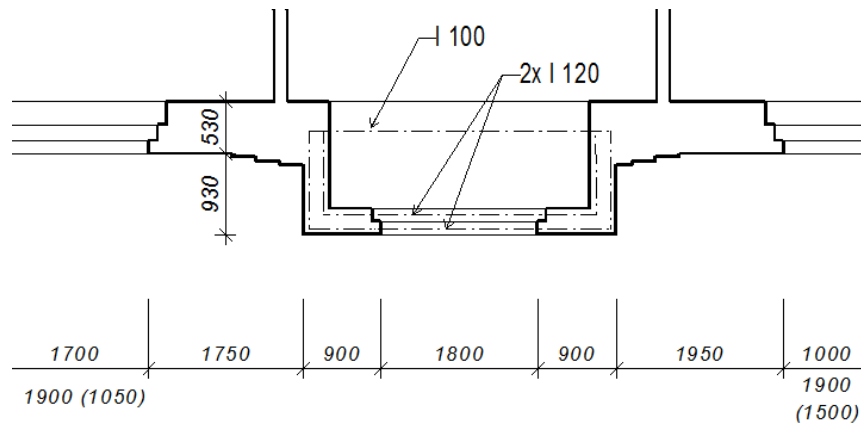
Obr. 27 – Dřevěná stropní konstrukce nad 4. NP



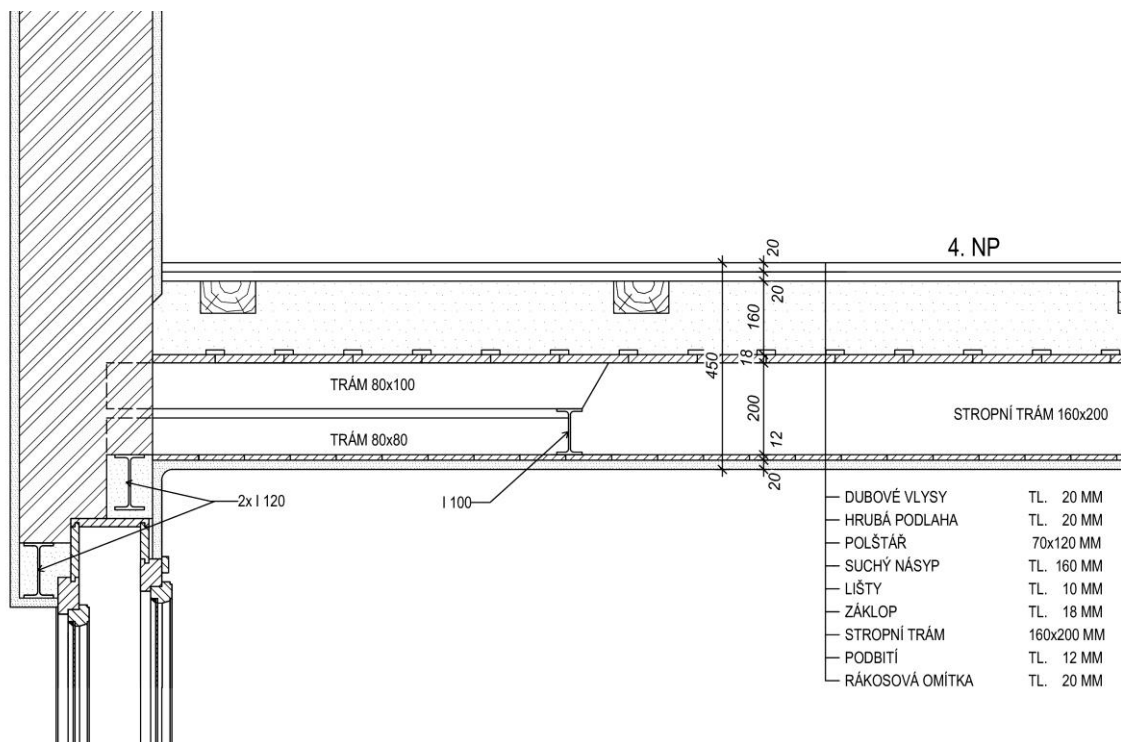
Obr. 28 – Betonová stropní konstrukce nad 1. NP s vyložení arkýře

4.1.3. Arkýř

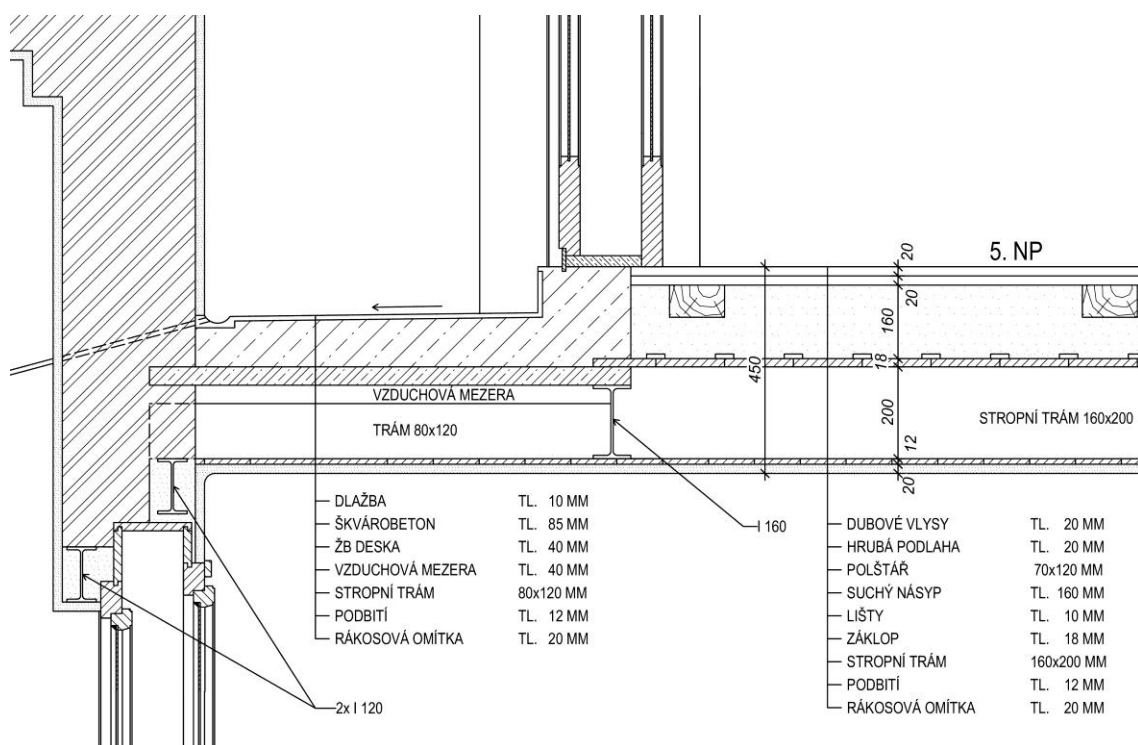
Arkýř je obdélníkového tvaru a je v každém patře vykonzolován pomocí nosné konstrukce z ocelových I nosníků. Nosná konstrukce zde zároveň plní i funkci překladů nad okny. Ocelové překlady jsou uloženy na betonových podkladcích. Obvodové zdivo arkýře je z důvodu vylehčení konstrukce vyzděno z cihel děrovaných. Tloušťka tohoto zdiva je 300 mm. Arkýř začíná ve 2. NP a je průběžný až do 4. NP. Nad 4. NP je arkýř ukončen balkónem. [17]



Obr. 29 – Konstrukce arkýře nad 3. NP



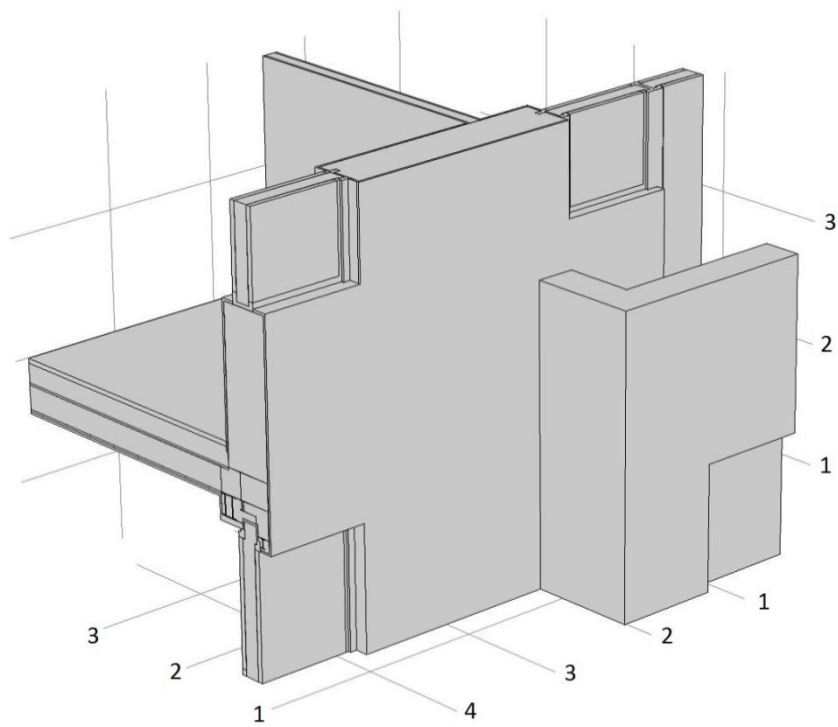
Obr. 30 – Dřevěná stropní konstrukce s vyložení arkýře nad 3. NP



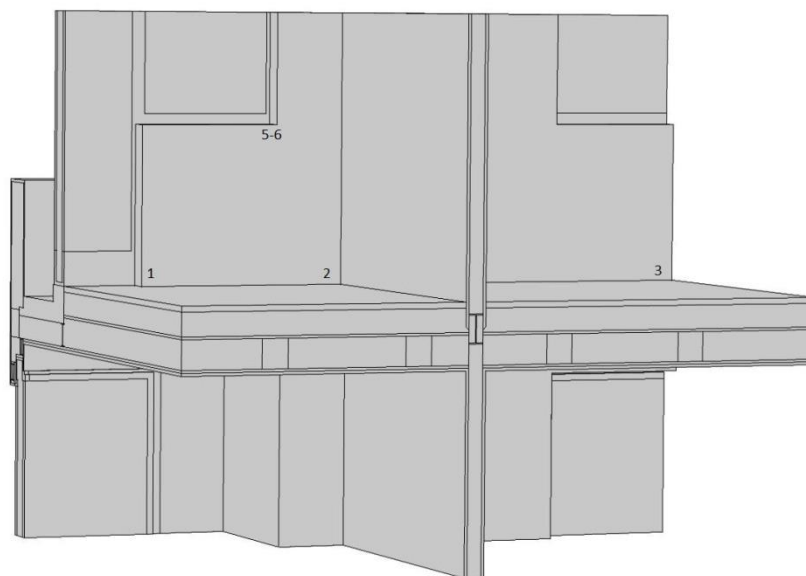
Obr. 31 – Ukončení arkýře v 5. NP balkónem

4.2. Popis 3D modelu

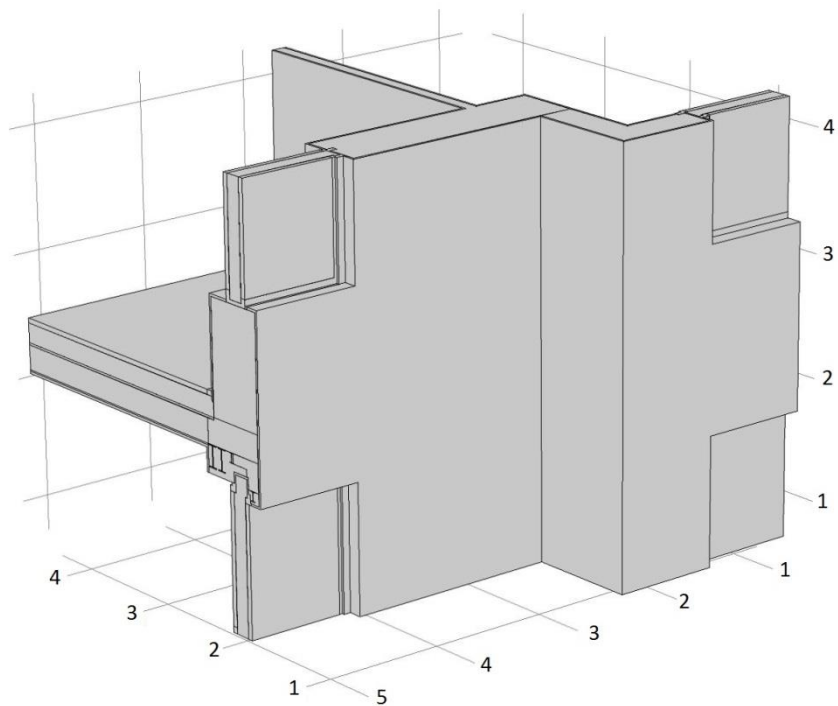
Výpočet a následné porovnání výsledků bylo provedeno na třech vybraných výsecích vedených po východní fasádě objektu, kde se mimo jiné nachází vstup do objektu a konstrukce arkýře. Výseky 3D modelů vychází z 2D výkresů detailů a původní projektové dokumentace. Původně byly modely vytvořeny v celé šířce arkýře, ale z výpočetní kapacity počítačové techniky byly modely omezeny pouze na polovinu, kdy byly rozděleny v ose symetrie. Jednotlivé modely zachycují stropní konstrukci nad přízemím, kde se nachází vstup do objektu, betonová stropní konstrukce a konstrukce arkýře. Dále strop nad 3. NP, kde je obytná místnost s dřevěným trémovým stropem a konstrukce arkýře. Následuje strop nad 4. NP, kde je obytná místnost také s dřevěným trémovým stropem, ale arkýř je zde ukončen balkónem. Po výšce jsou modely vždy do poloviny oken jednotlivých podlaží. 3D modely jsou znázorněny na následujících obrázcích vždy z pohledu exteriéru a interiéru.



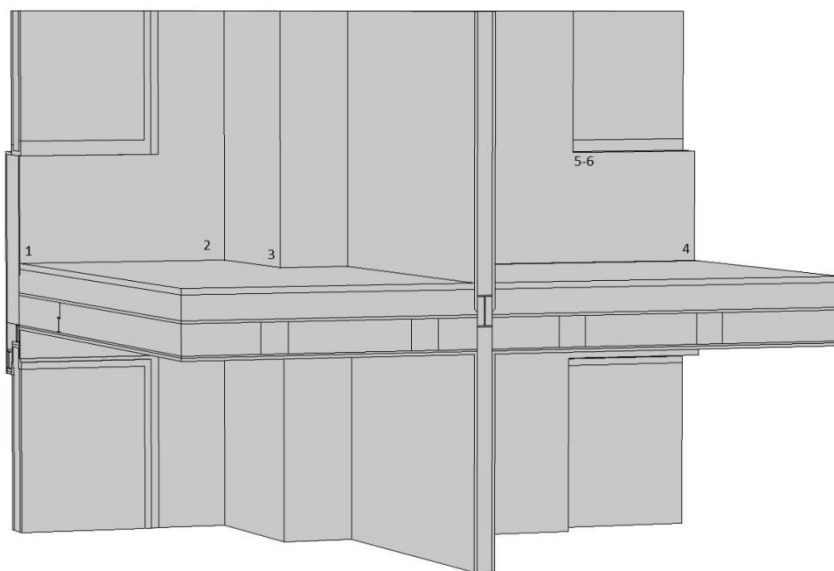
Obr. 32 – 4. NP / 5. NP



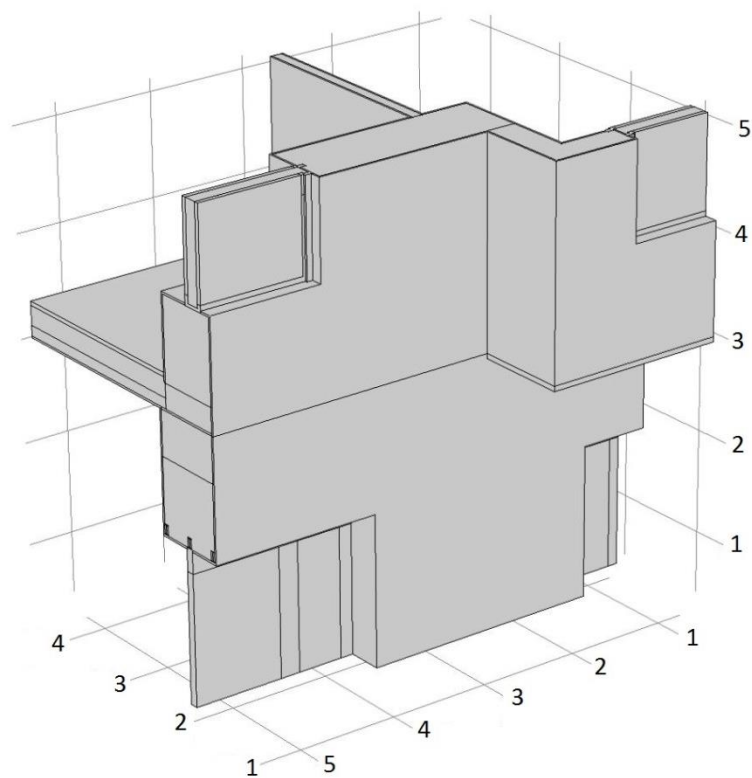
Obr. 33 – 4. NP / 5. NP – pohled z interiéru



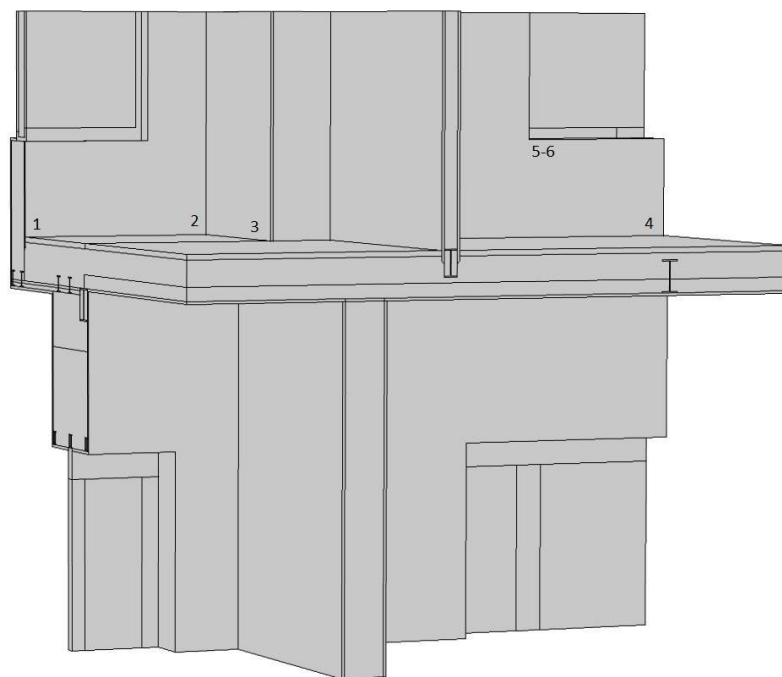
Obr. 34 – 3. NP / 4. NP



Obr. 35 – 3. NP / 4. NP – pohled z interiéru



Obr. 36 – 1. NP / 2. NP



Obr. 37 – 1. NP / 2. NP – pohled z interiéru

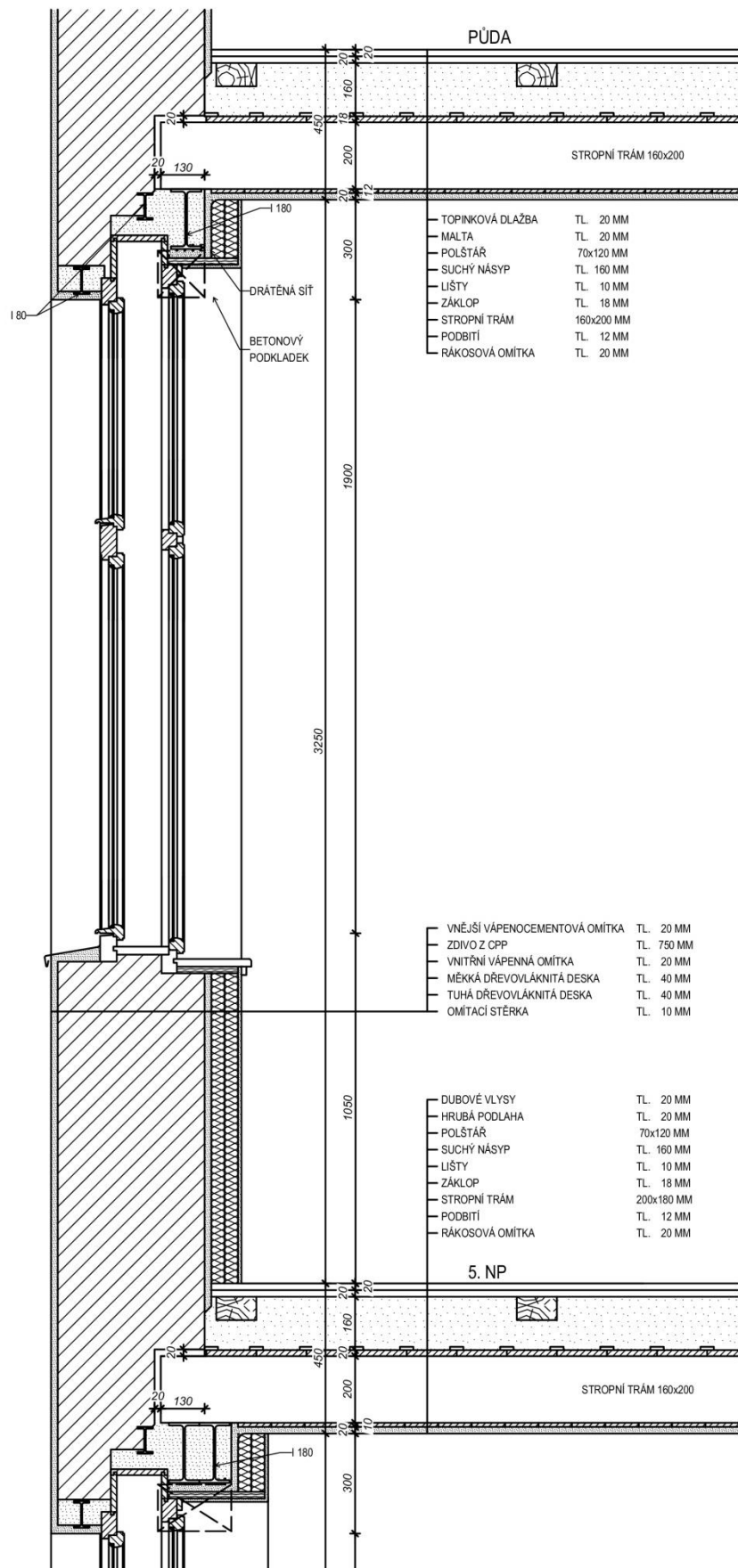
4.3. Popis použitého zateplení

Pro vnitřní zateplení objektu byl zvolen systém UdiIN RECO od firmy CIUR a.s. Systém je tvořen jako sendvičový systém na bázi dřeva. Zvolená výchozí tloušťka systému je 80 mm. Systém se skládá z tuhé nosné desky tloušťky 40 mm, která je určena k omítání a 60 mm flexibilní částí, která je přikládána na zeď a je předpokládáno její stlačení na tl. 40 mm. Součástí systému je speciální vnitřní stěrka Udi MUL TI GRUND v tloušťce 10 mm. Detailněji je systém vnitřního zateplení popsán v kapitole 2.2.5.

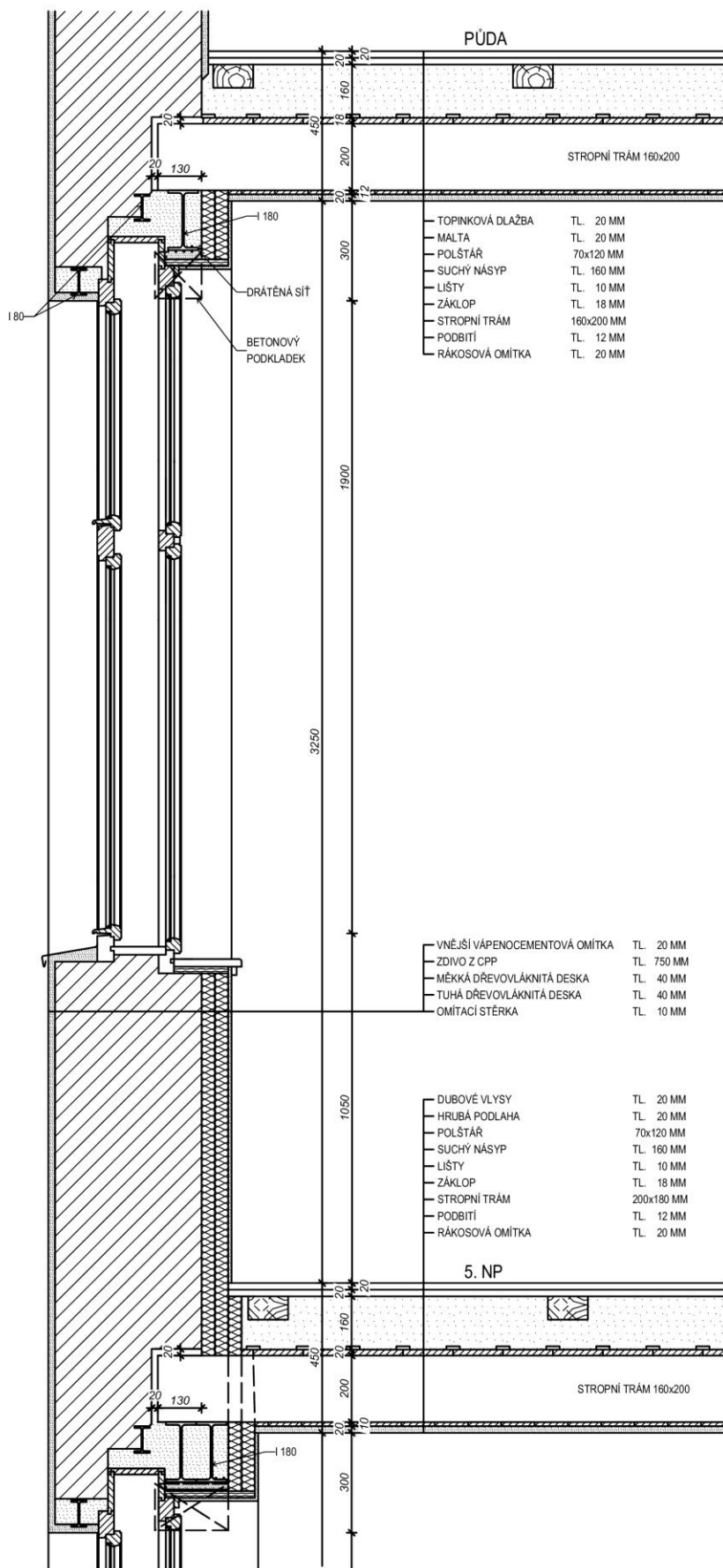
Výpočet zateplení bude proveden ve dvou variantách. První varianta uvažuje přerušenu tepelnou izolaci, kdy vnitřní izolace nezasahuje do stropní konstrukce ani podlahy. Vnitřní izolace je ukončena na úrovni podlahy a stropní konstrukce. V této variantě jsou provedeny minimální zásahy do původní konstrukce a je snadnější z hlediska provádění.

Ve druhé variantě uvažují průběžnou tepelnou izolaci, která zasahuje do stropní konstrukce. V této variantě je nutný zásah do stropní konstrukce a podlahy. Kvůli sjednocení povrchů by bylo dále nutné provést odstranění vnitřní omítky. V každém podlaží je jiná tloušťka zdiva a nebylo by tak možné dodržet průběžnou vrstvu izolace po celé výšce objektu, je vždy v úrovni nad trámy přidaná izolace, která překrývá izolaci v následujícím podlaží. Pro lepší názornost jsou varianty znázorněny na obr. 38 a obr. 39.

Součástí obou variant zateplení je i výměna okenních a dveřních výplní. Společný návrh má logické důvody. Lze eliminovat tepelné mosty v místě napojení zateplovacího systému a okenního rámu a uspořit část financí při souběžném provádění prací. Jejich materiálové charakteristiky jsou pospány v následující kapitole 4.4.



Obr. 38 – Detail řezu 5. NP – přerušená tepelná izolace



Obr. 39 – Detail řezu 5. NP – průběžná tepelná izolace

4.4. Materiálové charakteristiky

V následující tabulce jsou uvedeny charakteristiky jednotlivých materiálů, které byly při výpočtech použity. Materiálové charakteristiky jsou převzaty z katalogu výrobce systému UdiIN RECO a z ČSN 73 0540-3. Dále byl proveden výpočet ekvivalentní tepelné vodivosti pro vzduchovou mezeru mezi zasklením. Hodnota součinitele tepelné vodivosti vzduchové dutiny v kapsách trámů ($\lambda = 0,110 \text{ W/m.K}$) byla převzata z diplomové práce J. Kinzla – Trámové zhlaví v systémech vnitřního zateplení (2014/2015).

Tab. 10 – Materiálové charakteristiky

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti	Objemová hmotnost	Měrná tepelná kapacita	Faktor difuzního odporu
	λ	ρ	C	μ
	[W/(m.K)]	[kg/m ³]	[%]	[-]
Zdivo CPP	0,800	1 700	900	8,5
Zdivo děrované	0,580	800	960	7,0
Omítka vápenná	0,870	1 600	840	6,0
Omítka vápenocementová	0,990	2 000	790	19,0
Dřevo měkké tok kolmo k vláknům	0,180	400	2 510	157,0
Dřevo měkké tok rovnoběžně s vlákny	0,410	400	2 510	4,5
Měkká dřevovláknitá deska UdiIN RECO	0,038	55	2 100	5,0
Tuhá dřevovláknitá deska UdiIN RECO	0,048	250	2 100	1,0
Tuhá dřevovláknitá deska UdiUNGER	0,048	270	2 100	5,0
Omítací stěrka UdiMULTIGRUND	0,550	1 000	1 600	350
Vzduchová dutina – strop	1,400	1,2	1010	0,1
Vzduchová dutina – okna	0,710	1,2	1 010	0,1
Vzduchová dutina – kapsy	0,110	1,2	1 010	0,1
Beton	1,300	2 200	1 020	20
Betonový dutinový panel	1,200	1 200	840	23
Ocel	50,000	7 850	870	500 000
Sklo	0,760	2 600	840	1 000 000

4.4.1. Výpočet ekvivalentní tepelné vodivosti vzduchu v dutině

$$\lambda_g = \frac{d}{R} \quad (2)$$

λ_g ekvivalentní tepelná vodivost dutiny mezi zasklením [W/m.K]

d tloušťka dutiny ve směru tepelného toku [m]

R tepelný odpor nevětrané vzduchové dutiny [m².K/W]

Tepelný odpor nevětrané vzduchové dutiny R [m².K/W]

$$R = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (3)$$

h_a součinitel přenosu tepla vedením a prouděním ve vzduchové vrstvě [W/m².K] a platí:

- 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 součinitel přenosu tepla sáláním mezi povrchy vzduchové vrstvy [W/m².K] a platí:

Součinitel přenosu tepla sáláním mezi povrchy vzduchové dutiny h_r [W/m².K]

$$h_r = 2,27 \cdot 10^{-7} \cdot T_m^3 \cdot E \quad (4)$$

T_m střední teplota obou povrchů dutiny [K]

$$T_m = (\theta_m + 273,15) \quad (5)$$

E součinitel vzájemného osálení povrchů

Součinitel vzájemného osálení povrchů E [-]

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,9} - 1} = 0,82 \quad (6)$$

$\varepsilon_{1,2}$ jsou emisivity jednotlivých povrchů dutiny, pro většinu běžných stavebních materiálů platí přibližně $\varepsilon = 1$, ve výpočtu je uvažována hodnota $\varepsilon = 0,9$

4.4.2. Výplně otvorů

Při návrhu zateplení je ideální provést i návrh výměny okenních a dveřních výplní otvorů. Společný návrh má logické důvody. Lze eliminovat tepelné mosty v místě napojení zateplovacího systému a okenního rámu.

V původním stavu je tedy počítáno s původními špaletovými okny, které mají součinitel prostupu tepla $U = 2,69 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a původními dveřními výplněmi, které mají součinitel prostupu tepla $U = 5,54 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

V návrhovém stavu po zateplení je tedy počítáno s již vyměněnými okenními a dveřními výplněmi. Počítá se s novými špaletovými okny, ale musí být zachován stejný vzhled oken jako oken původních. Nová špaletová okna mají na vnějším povrchu izolační dvojsklo a na vnitřním povrchu sklo jednoduché. Součinitel prostupu tepla špaletového okna je $U = 1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. U dveřních výplní je také počítáno s jejich výměnou a zachováním původního historického vzhledu. Součinitel prostupu tepla dveří je $U = 1,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

5. 1D výpočty

Tato kapitola je rozdělena na základní tři podkapitoly, které se zabývají 1D výpočty v ustáleném stavu a neustáleném stavu, následuje kapitola s jejich vyhodnocením a porovnáním požadavků s normou ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov. Jedná se o posouzení původních a navržených skladeb v ustáleném stavu v programu Teplo 2014 a posouzení vlhkostního stavu navržených skladeb v programu WUFI 5.

5.1. Okrajové podmínky

Okrajové podmínky výpočtu pro interiér byly zvoleny pro obytné místnosti a okrajové podmínky výpočtu pro exteriér byly zvoleny podle lokality, kde se objekt nachází, zde je to Praha. Okrajové podmínky jsou shrnuty níže v tab. 11.

Tab. 11 – Okrajové podmínky 1D výpočtu

Návrhová venkovní teplota	θ_e	[°C]	-13
Návrhová teplota vnitřního vzduchu	θ_i	[°C]	21
Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu	φ_e	[%]	84
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu	φ_i	[%]	50
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	[m ² .K/W]	0,04
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	R_{si}	[m ² .K/W]	0,13

5.2. Požadavky ČSN EN 73 0540

V rámci 1D výpočtu jsou posouzeny skladby obvodových stěn na požadavky normy ČSN EN 73 0540-2. Kdy musí být posouzeny tyto tři základní požadavky:

- Požadavek na teplotní faktor [18]

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (7)$$

$f_{Rsi,N}$ požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

f_{Rsi} vypočtená hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

- Požadavek na součinitel prostupu tepla [18]

$$U \leq U_N \quad (8)$$

U součinitel prostupu tepla [W/m².K]

U_N požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla [W/m².K]

- Požadavky na šíření vlhkosti v konstrukci [18]
 1. Pro stavební konstrukci, u které kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce neohroží její požadovanou funkci, se požaduje omezení roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce tak, aby byla splněna podmínka:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (9)$$

M_c roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce
[kg/(m².rok)]

$M_{c,N}$ normová hodnota maximálního ročního množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce [kg/(m².rok)]

2. Pro konstrukce se zabudovanými dřevěnými prvky, vnějším zateplovacím systémem, obkladem nebo konstrukcí s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami a pro jednoplášťové střechy je normová hodnota stanovena jednou z nižších hodnot:

$$M_{c,N} = 0,1 \text{ kg/(m}^2\text{.rok)}, \text{ nebo } 3 \% \text{ plošné hmotnosti materiálu}$$

Pro ostatní konstrukce, sem spadají původní nezateplené konstrukce obvodových stěn, je normová hodnota $M_{c,N}$ stanovena jednou z nižších hodnot:

$$M_{c,N} = 0,5 \text{ kg/(m}^2\text{.rok)}, \text{ nebo } 5 \% \text{ plošné hmotnosti materiálu}$$

Pokud je do stavební konstrukce zabudováno dřevo nebo materiál na bázi dřeva je nutné, aby rovnovážná hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva nepřekročila 18 %. Pokud je rovnovážná hmotnostní vlhkost větší než 18 %, je ohrožena požadovaná funkce konstrukce.

3. Zároveň musí být roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce menší než roční množství vypařitelné páry.

$$M_c < M_{ev} \quad (10)$$

M_c roční množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce
[kg/(m².rok)]

M_{ev} roční množství vypařitelné vodní páry uvnitř konstrukce
[kg/(m².rok)]

V odůvodněných případech je možné hodnotit šíření vlhkosti konstrukcí pokročilejšími výpočetními metodami, než jsou metody ČSN EN ISO 13788 a ČSN 73 0540. V takových případech musí být výpočtem roční bilance prokázáno, že se hmotnostní vlhkost žádné z vrstev konstrukce trvale nezvyšuje. Současně musí být prokázáno, že roční množství zkondenzované vodní páry neohroží funkci konstrukce.

5.3. Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je důležitý výpočet pro tepelně technické posouzení skladeb. Výhodou je snadné posouzení rozdílných skladeb na základě tohoto výpočtu. Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] vyjadřuje prostup tepla konstrukcí a tím pádem hodnotí tepelně izolační kvalitu konstrukce. Součinitel prostupu tepla udává, kolik tepla ve W projde 1 m^2 konstrukce při rozdílu teplot 1 K . Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí jsou dány v normě ČSN 73 0540.

Součinitel prostupu tepla se vypočítá:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T} \quad (11)$$

U	součinitel prostupu tepla celé konstrukce [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
R_T	tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
R	tepelný odpor materiálových vrstev konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]

Tepelný odpor materiálových vrstev konstrukce se vypočítá:

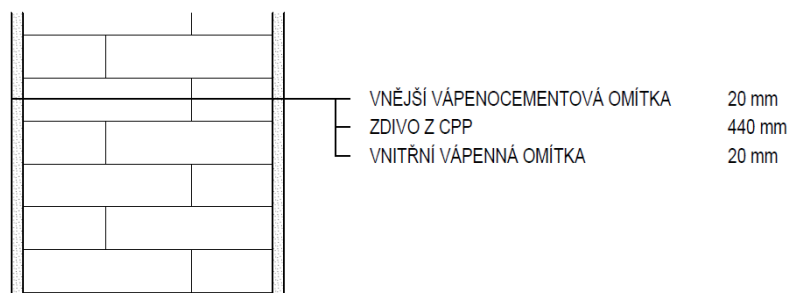
$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (12)$$

R	celkový tepelný odpor všech materiálových vrstev konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
R_i	tepelný odpor i -té materiálové vrstvy v konstrukci [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
d_i	tloušťka i -té materiálové vrstvy v konstrukci [m]
λ_i	součinitel tepelné vodivosti i -té materiálové vrstvy v konstrukci [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

Odporů při přestupu tepla na vnějším a vnitřním povrchu konstrukce popisují tepelnou výměnu mezi vnitřním/vnějším povrchem konstrukce a vnitřním/vnějším prostředím. Jejich hodnoty jsou dány v normě ČSN 73 0540 a závisí na typu posuzované konstrukce.

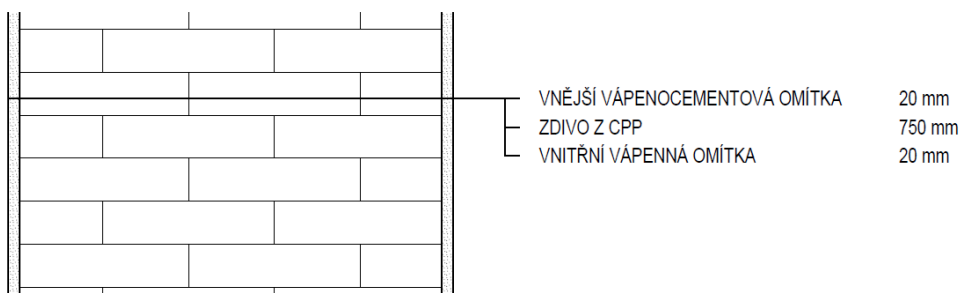
Skladby posuzovaných obvodových konstrukcí:

- **Skladba CPP tl. 450 mm před zateplením**



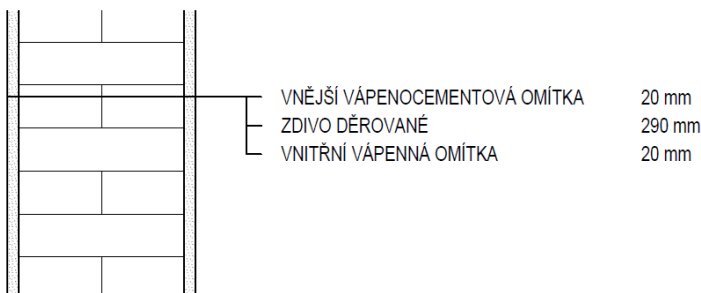
Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla: **$U = 1,310 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$**

- **Skladba CPP tl. 750 mm před zateplením**



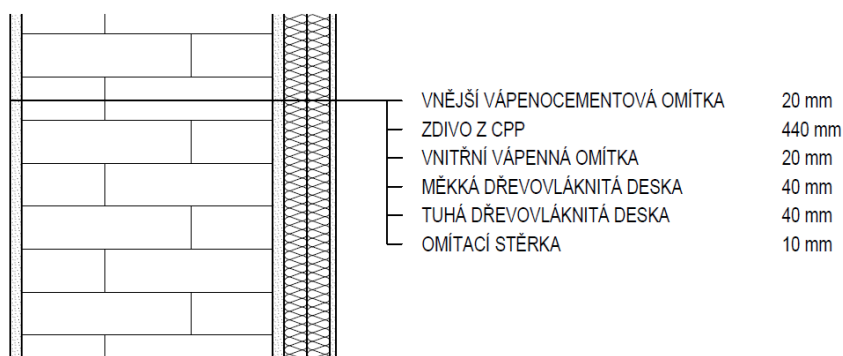
Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla: **$U = 0,869 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$**

- **Skladba děrované cihly tl. 300 mm před zateplením**



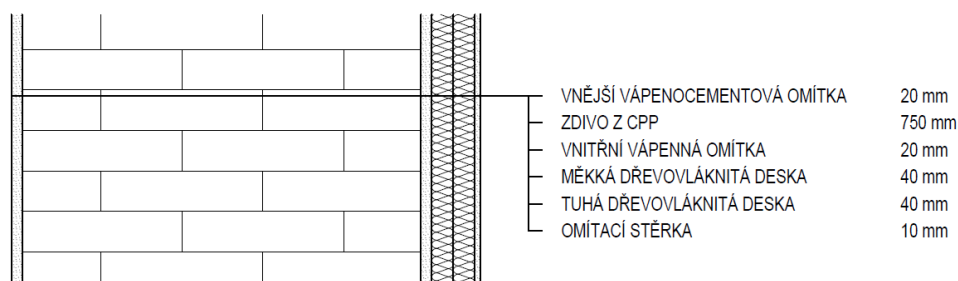
Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla: **$U = 1,402 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$**

- **Skladba CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**



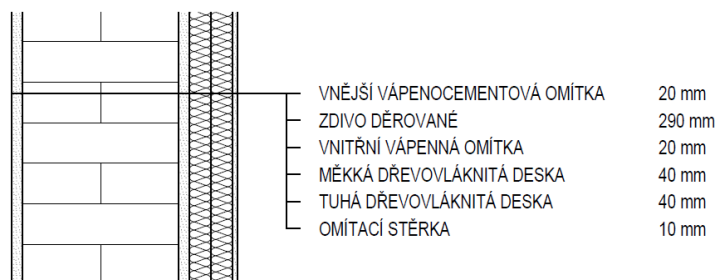
Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla: **$U = 0,375 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$**

- **Skladba CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**



Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla: **$U = 0,327 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$**

- **Skladba děrované cihly tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**

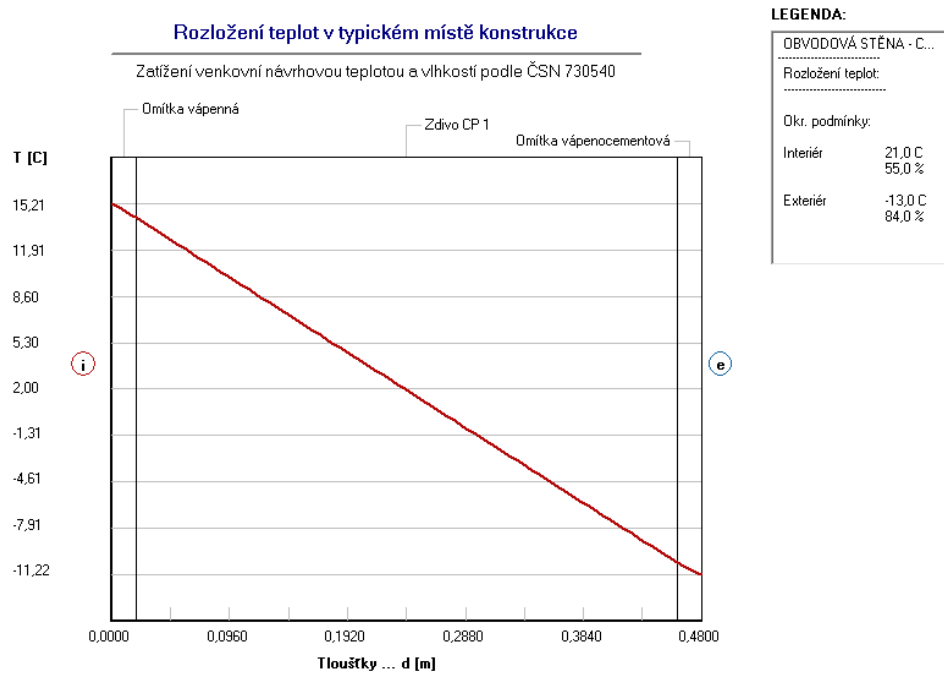


Vypočtená hodnota součinitele prostupu tepla: **$U = 0,382 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$**

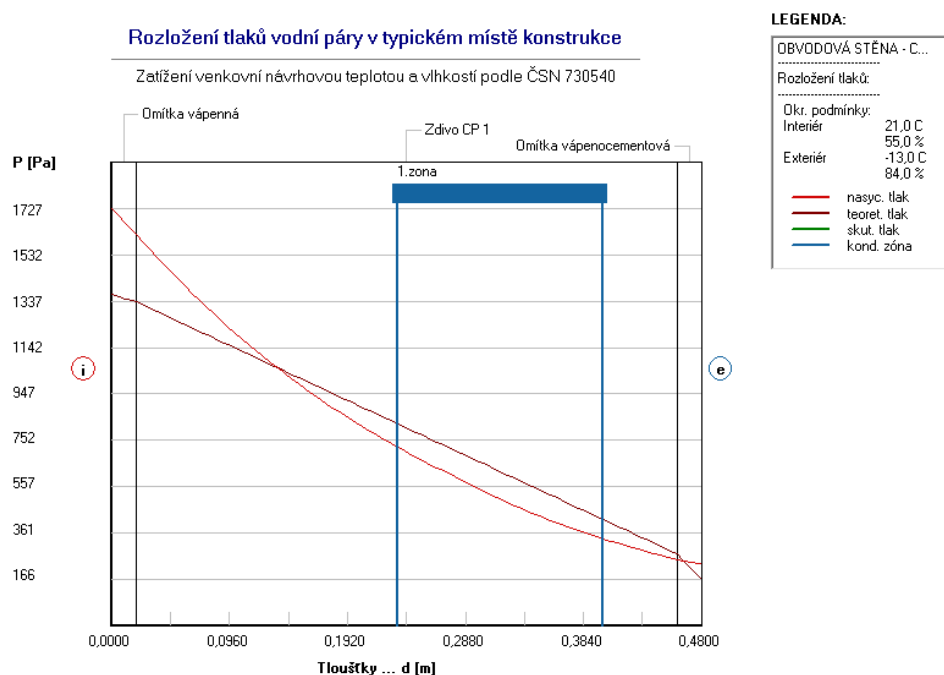
5.4. 1D Výpočet – ustálený stav

5.4.1. Skladba CPP tl. 450 mm

Tato skladba obvodového zdiva se nachází v 5. NP posuzovaného objektu. Je tvořena zdivem z plných cihel v tloušťce 440 mm, vnitřní vápennou omítkou a vnější vápenocementovou omítkou v tloušťce 20 mm. Rozložení teploty a tlaků vodní páry je znázorněno na obr. 40 a obr. 41.



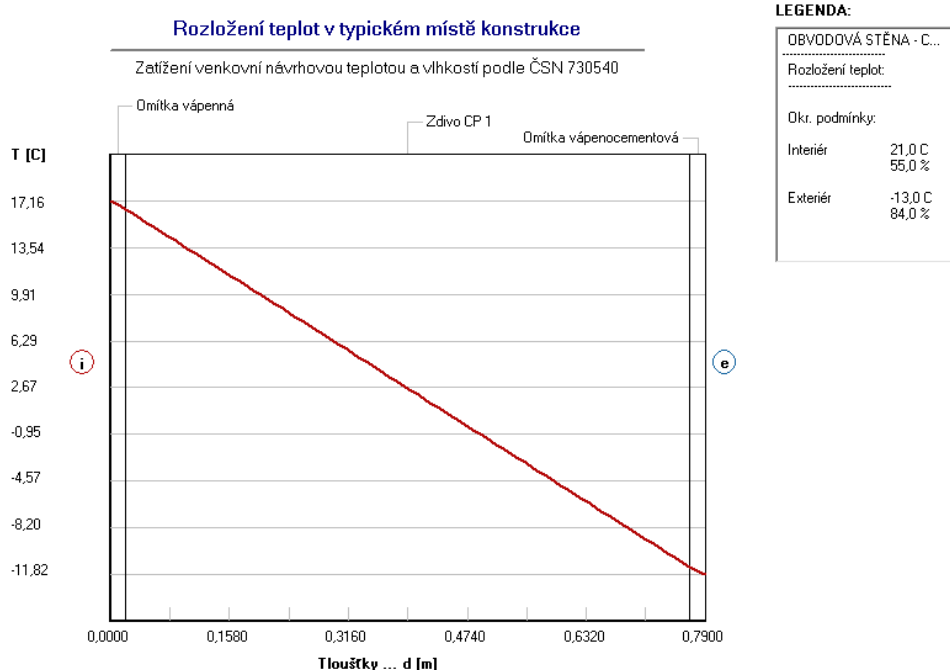
Obr. 40 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm



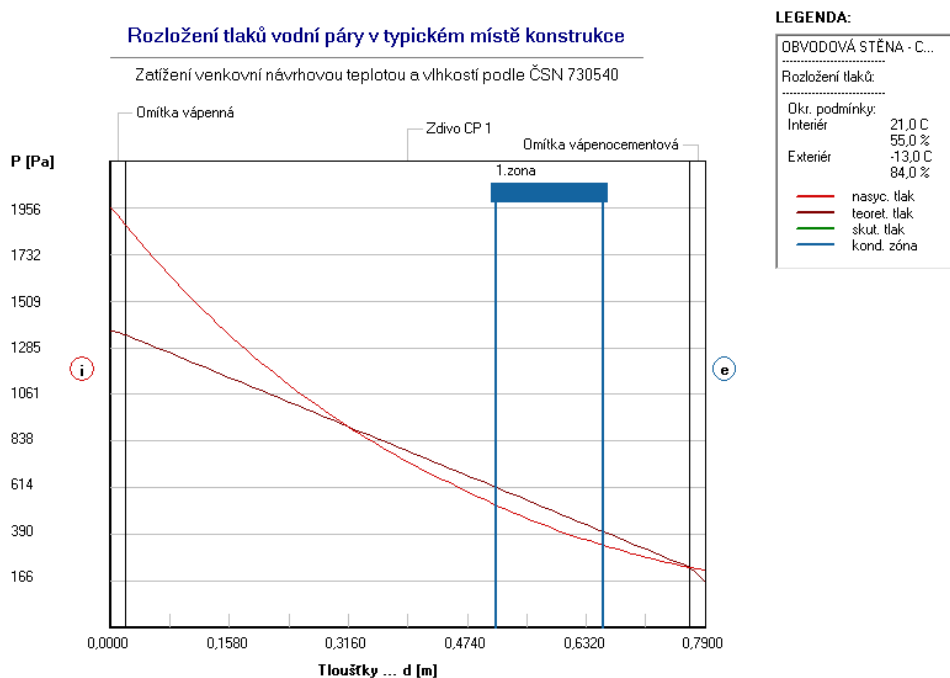
Obr. 41 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm

5.4.2. Skladba CPP tl. 750 mm

Tato skladba obvodového zdiva se nachází v 1. NP posuzovaného objektu. Je tvořena zdivem z plných cihel v tloušťce 750 mm, vnitřní vápennou omítkou a vnější vápenocementovou omítkou v tloušťce 20 mm. Rozložení teploty a tlaků vodní páry je znázorněno na obr. 42 a obr. 43.



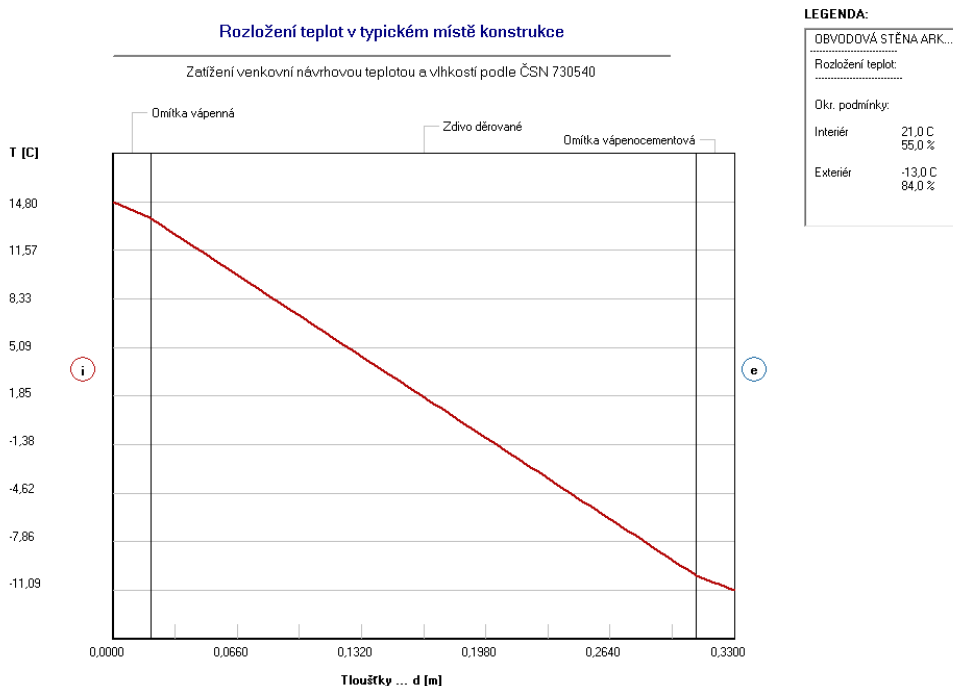
Obr. 42 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 750 mm



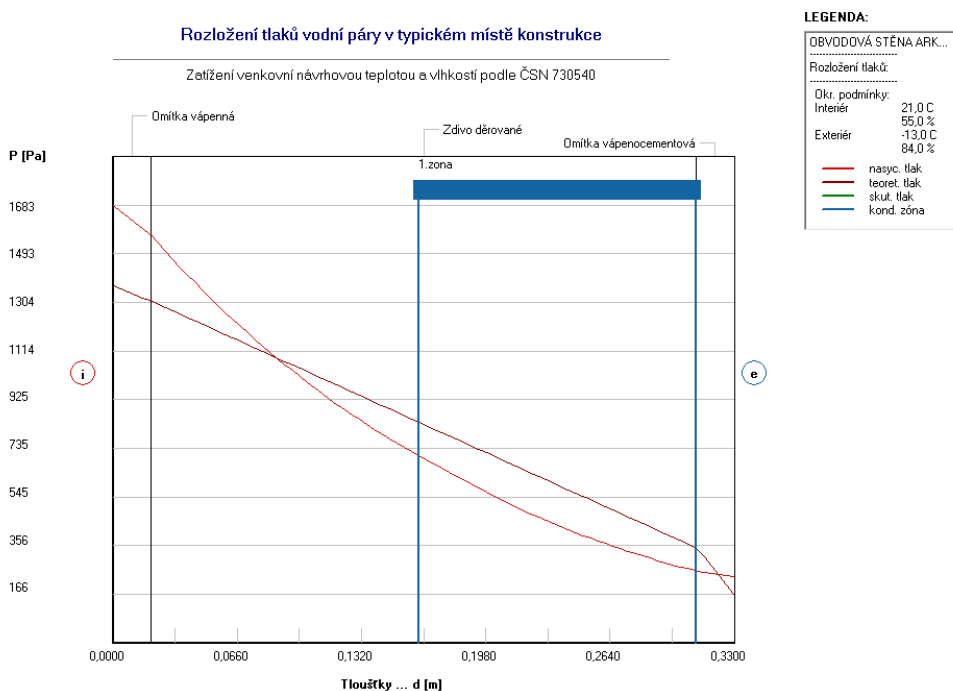
Obr. 43 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 750 mm

5.4.3. Skladba děrované cihly tl. 300 mm

Z této skladby je vyzděn arkýř ve všech podlažích. Je tvořena zdívem z děrovaných cihel v tloušťce 290 mm, vnitřní vápennou omítkou a vnější vápenocementovou omítkou v tloušťce 20 mm. Rozložení teploty a tlaků vodní páry je znázorněno na obr. 44 a obr. 45.



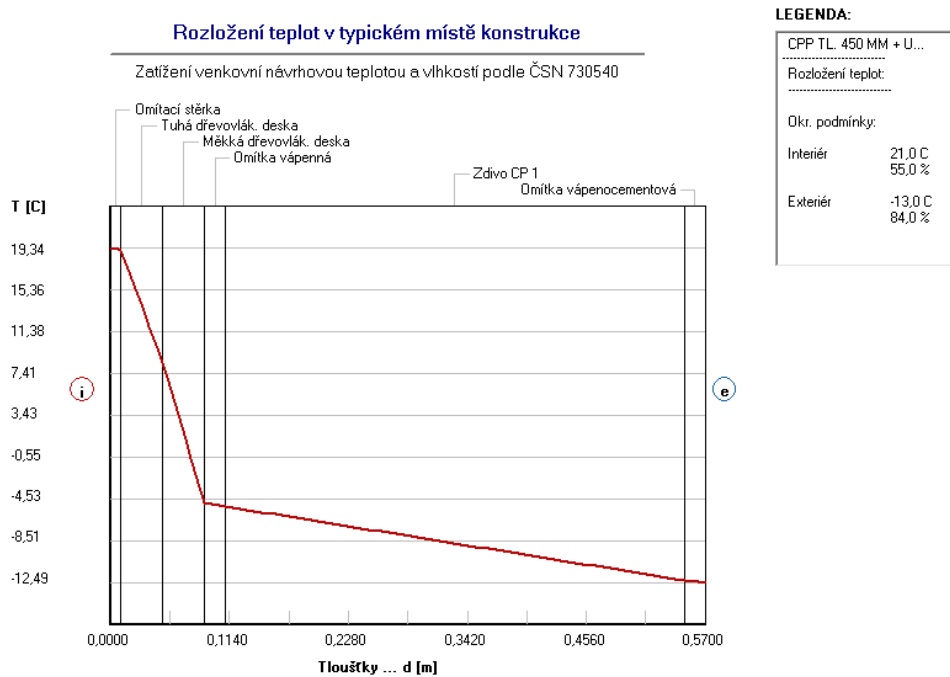
Obr. 44 – Rozložení teplot v typickém místě skladby děrovaných cihel tl. 300 mm



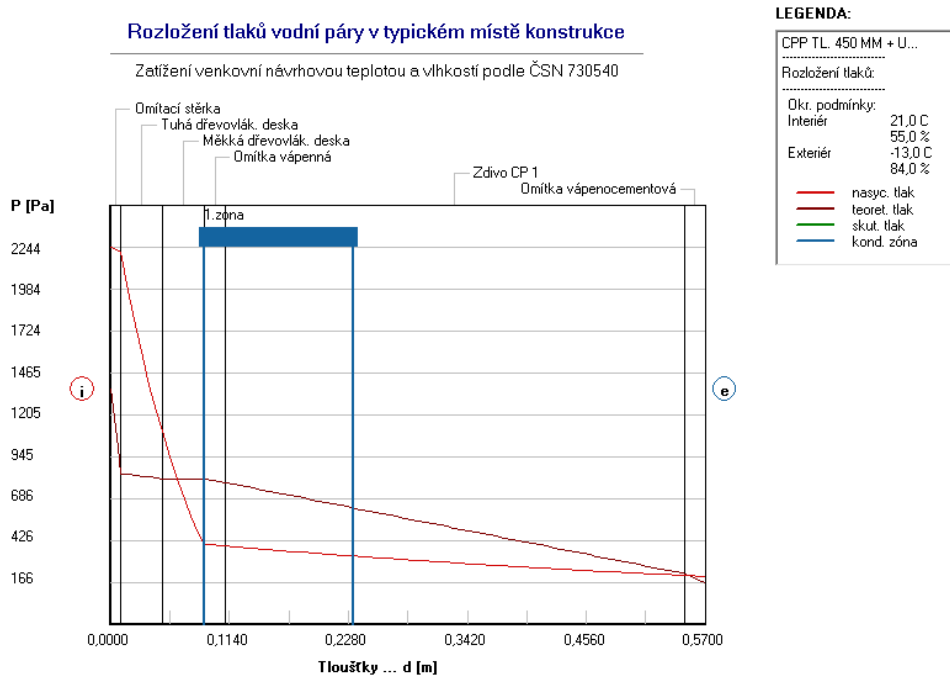
Obr. 45 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby děrovaných cihel tl. 300 mm

5.4.4. Skladba CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm

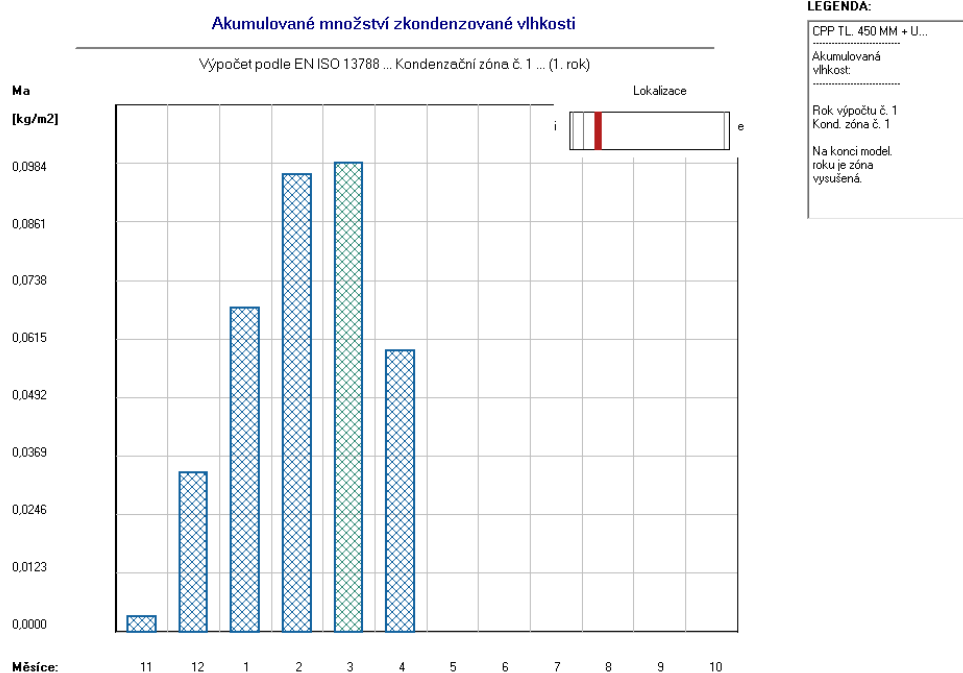
Jedná se o původní skladbu obvodové stěny CPP tl. 450 mm, která byla zateplena na vnitřní zateplovacím systémem UdiIN RECO tl. 80 mm. Rozložení teploty a tlaků vodní páry je znázorněno na obr. 46 a obr. 47.



Obr. 46 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm



Obr. 47 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm

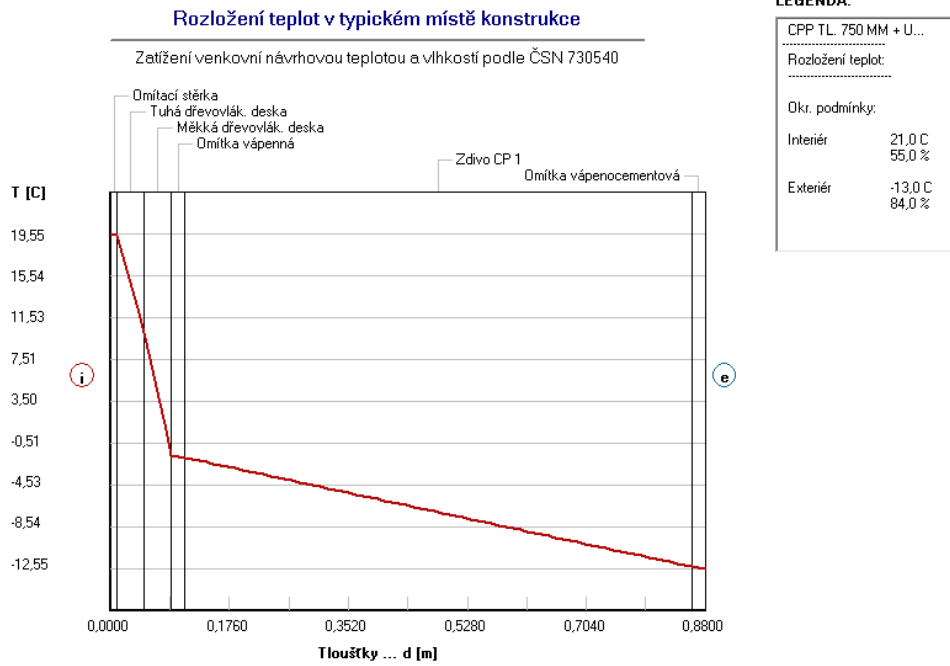


**Obr. 48 – Akumulované množství zkondenzované vlhkosti ve skladbě
CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**

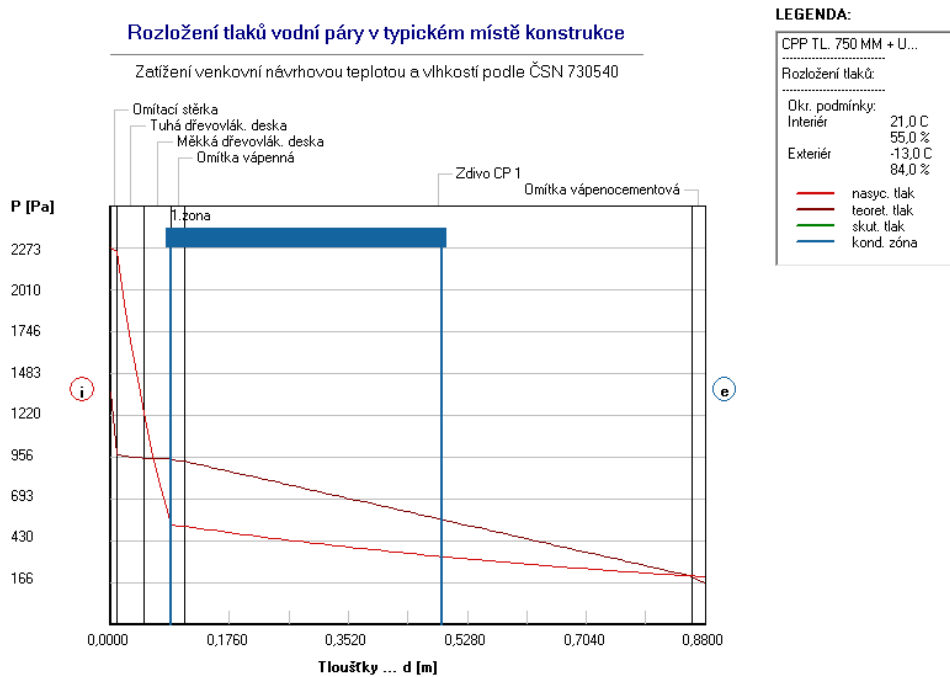
Jak je vidět z obr. 47 dochází ke kondenzaci vodní páry na rozhraní původního zdiva a vnitřního zateplení ke kondenzaci. Na obr. 48 je pak znázorněno akumulované množství zkondenzované vlhkosti v konstrukci, v jednotlivých měsících modelového roku dle ČSN ISO 13788. Míra kondenzace je taková, že roční množství kondenzátu je větší než maximální roční množství zkondenzované vodní páry. Skladba tedy bude ještě posouzena ve výpočetním programu WUFI 5 a bude ověřeno, zda se hmotnostní vlhkost jednotlivých vrstev trvale nezvyšuje a zda rovnovážná hmotnostní vlhkost materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18 %. Pokud ano, byla by ohrožena požadovaná funkce konstrukce.

5.4.5. Skladba CPP tl. 750 mm + UdiReco tl. 80 mm

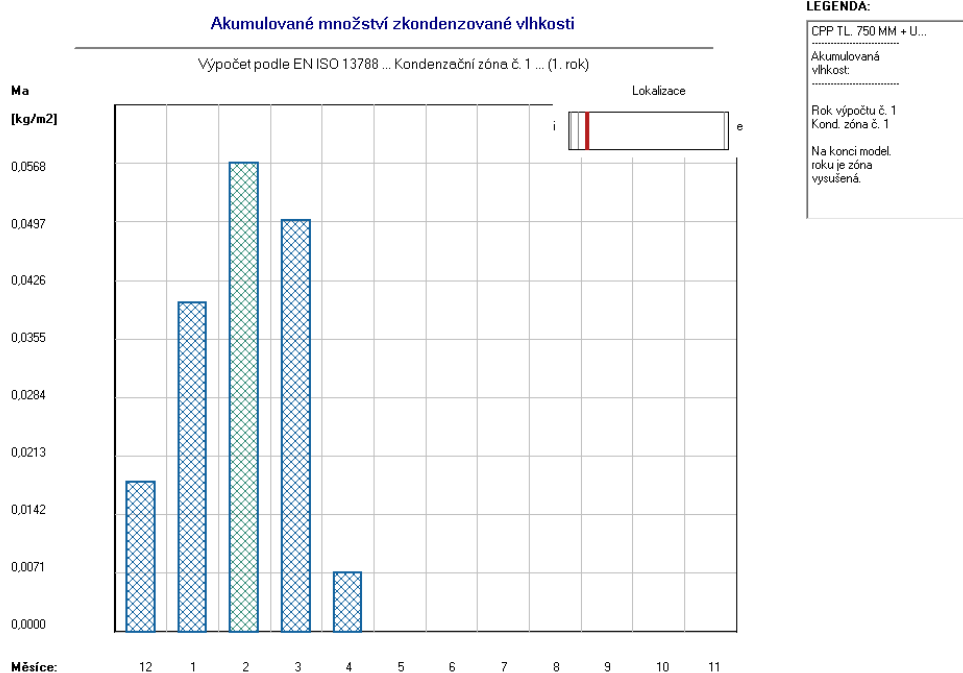
Jedná se o původní skladbu obvodové stěny CPP tl. 750 mm, která byla zateplena vnitřní zateplovacím systémem UdiIN RECO tl. 80 mm. Rozložení tlaků vodní páry a teploty je znázorněno na obr. 49 a obr. 50.



Obr. 49 – Rozložení teplot v typickém místě skladby
CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm



Obr. 50 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby
CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm

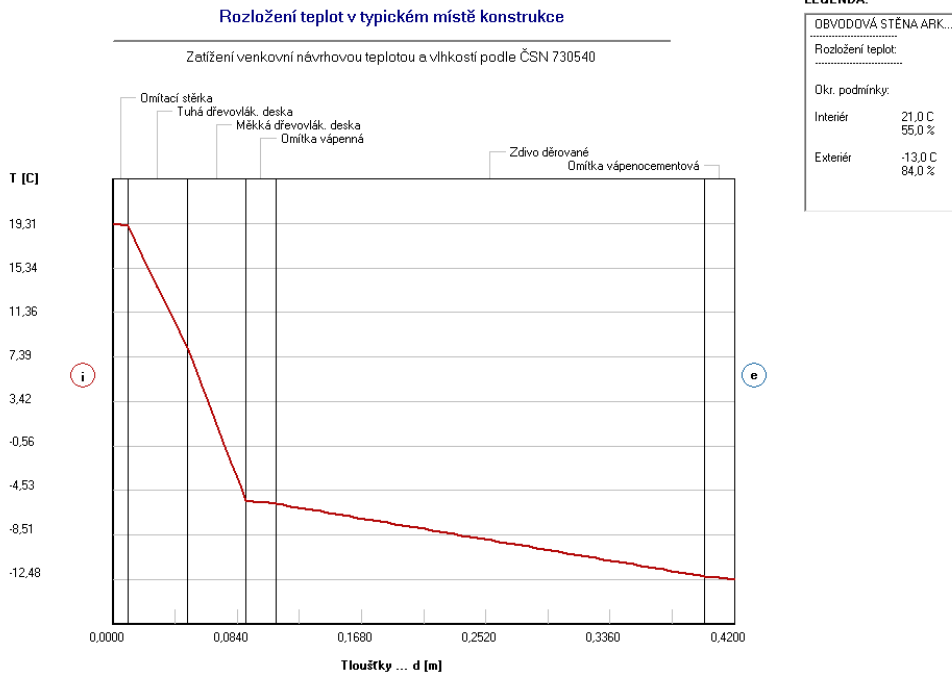


**Obr. 51 – Akumulované množství zkondenzované vlhkosti ve skladbě
CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**

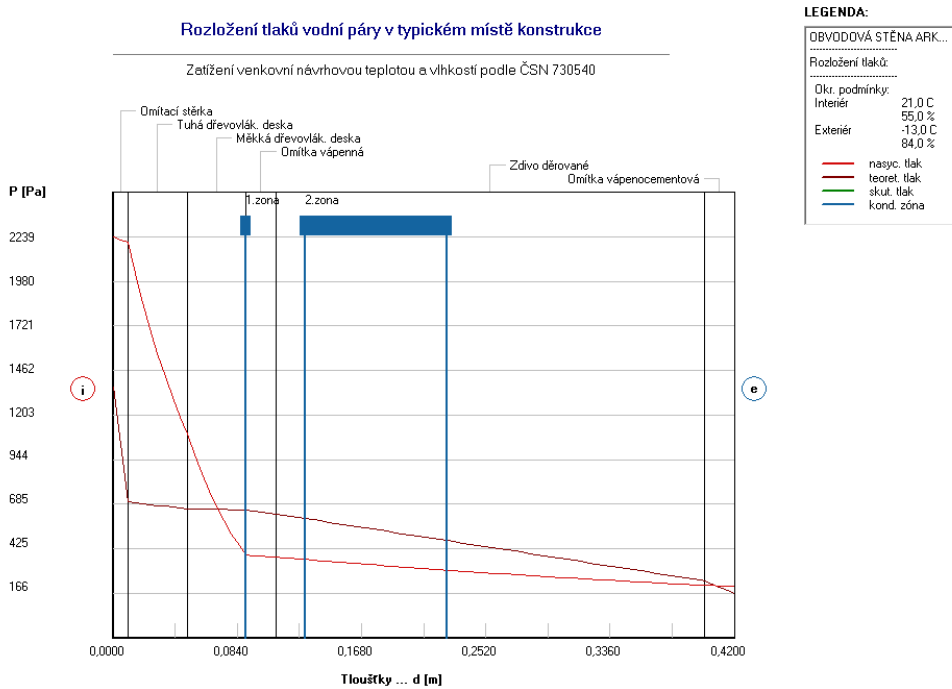
Jak je vidět z obr. 50 dochází ke kondenzaci vodní páry na rozhraní původního zdiva a vnitřního zateplení ke kondenzaci. Na obr. 51 je pak znázorněno akumulované množství zkondenzované vlhkosti v konstrukci, v jednotlivých měsících modelového roku dle ČSN ISO 13788. Míra kondenzace je taková, že roční množství kondenzátu je větší než maximální roční množství zkondenzované vodní páry. Skladba tedy bude ještě posouzena ve výpočetním programu WUFI 5 a bude ověřeno, zda se hmotnostní vlhkost jednotlivých vrstev trvale nezvyšuje a zda rovnovážná hmotnostní vlhkost materiálu na bázi dřeva nepřekročí 18 %. Pokud ano, byla by ohrožena požadovaná funkce konstrukce.

5.4.6. Skladba děrované cihly tl. 300 mm + UdiReco tl. 80 mm

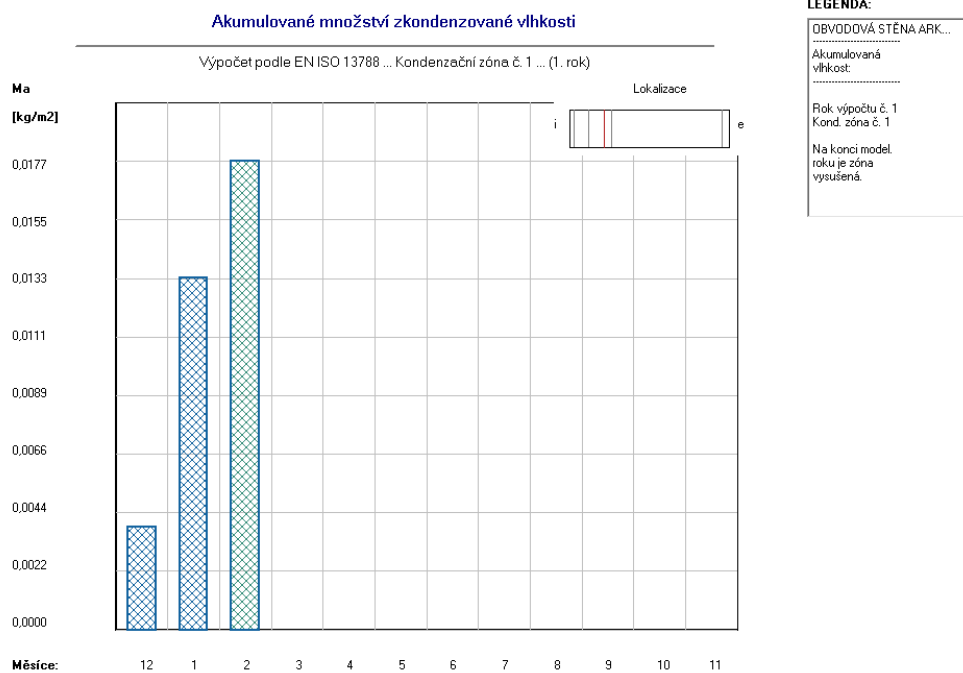
Ve výpočtu je uvažována skladba obvodových stěn arkýře s tloušťkou obvodového zdiva 290 mm, která byla zateplena vnitřní zateplovacím systémem UdiIN RECO tl. 80 mm. Rozložení tlaků vodní páry a teploty je znázorněno na obr. 52 a obr. 53.



**Obr. 52 – Rozložení teplot v typickém místě skladby
děrovaných cihel tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**



**Obr. 53 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby
děrovaných cihel tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**



**Obr. 54 – Akumulované množství zkondenzované vlhkosti ve skladbě
děrovaných cihel tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm**

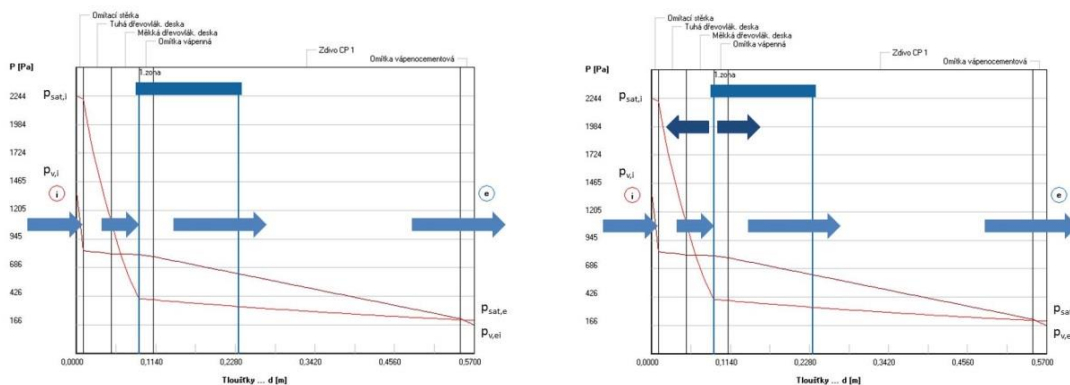
Jak je vidět z obr. 53 dochází ke kondenzaci vodní páry ve dvou zónách. Na obr. 54 je pak znázorněno akumulované množství zkondenzované vlhkosti v konstrukci, v jednotlivých měsících modelového roku dle ČSN ISO 13788. Jak je vidět už v březnu nedochází k další akumulaci kondenzátu. V tomto případě je tedy roční množství kondenzátu menší než maximální roční množství zkondenzované vodní páry.

5.5. 1D výpočet – neustálený stav

Při projektové přípravě vnitřního zateplení se velmi často dochází k závěrům, že realizace není možná, protože dle ČSN 73 0540 není splněna vlhkovní podmínka č.1:

$$M_c \leq M_{c,N} = 0,1 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{rok)]} \quad (13)$$

Tyto výsledky jsou interpretovány na základě výpočtů, které jsou založeny na Glaserově metodě. Glaserova metoda pracuje na principu nalezení kondenzační oblasti uvnitř stavební konstrukce a vyhodnocení poměru zkondenzovaného a vypařitelného množství vody. Glaserův model už nepočítá s kapilárním transportem vody v materiálech a odvodem vlhkosti do místa s nižším obsahem vody. Princip obou metod je zjednodušeně znázorněn na obr. 55. [19]

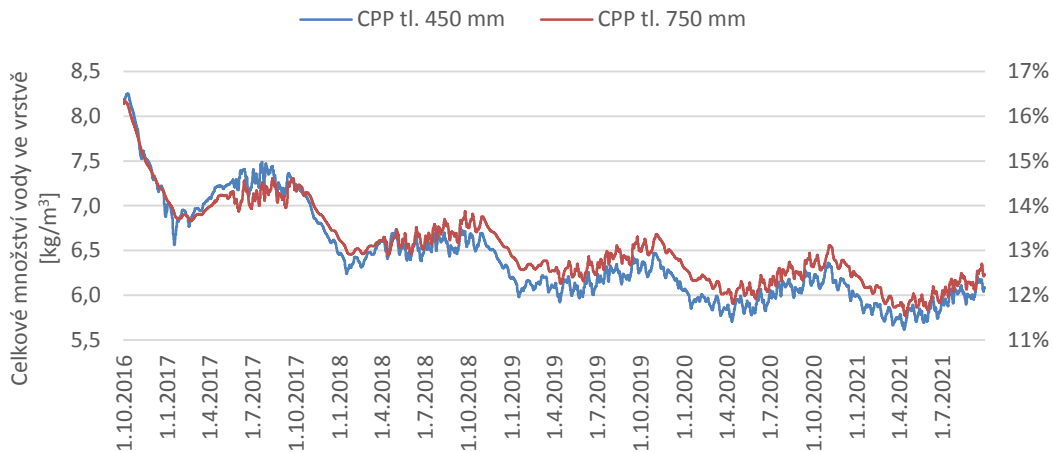


Obr. 55 – Difuze vodní páry a kapilární tok – Glaserova metoda a podle dr. Kurta Kiessela [19]

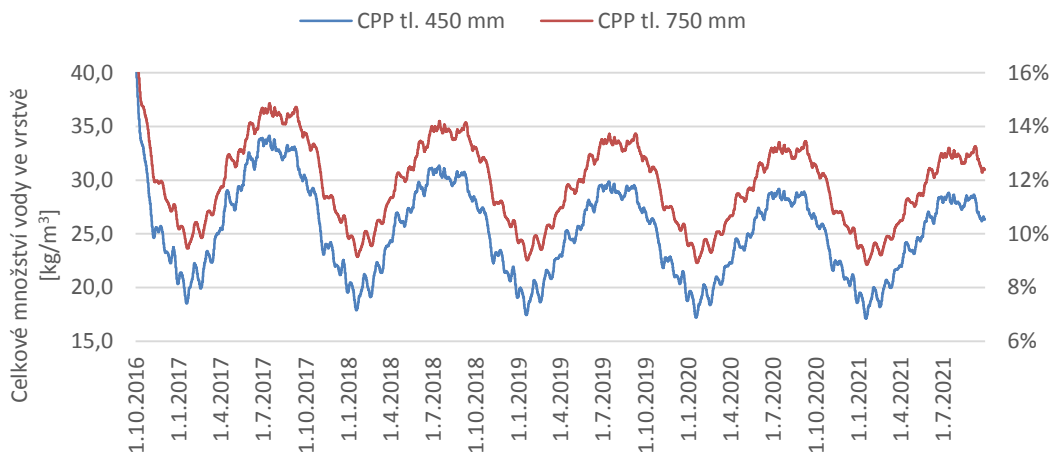
Z tohoto důvodu byly konstrukce, které nesplňují tyto podmínky posouzeny výpočtním programem WUFI 5, který umožňuje dynamický výpočet šíření tepla a vlhkosti ve stavebních konstrukcích.

5.5.1. Množství kondenzátu ve vrstvě vnitřního zateplení

Výsledky dynamického posouzení skladeb CPP tl. 450 + UdiIN RECO tl. 80 mm a CPP tl. 750 + UdiIN RECO tl. 80 mm v programu WUFI 5 jsou znázorněny níže v grafu 1 a grafu 2. Podle normy ČSN 73 0540-2 se musí prokázat, že ve všech vrstvách nedochází ke zvyšování vlhkosti. V tomto případě je porovnání pouze izolačního materiálu na bázi dřeva, které je ve styku s původní vnitřní omítkou. Právě zde je oblast kondenzace a možnost zvyšování vlhkosti.



Graf 1 – Celkové množství vody ve vrstvě měkké dřevovláknité desky



Graf 2 – Celkové množství vody ve vrstvě tuhé dřevovláknité desky

Jak je vidět z následujících grafů, množství vody v jednotlivých vrstvách konstrukce, které obsahují materiály na bázi dřeva, v průběhu let klesá a nedochází ke zvyšování vlhkosti. Při hodnocení delšího časového období by dokonce bylo patrné, že se hodnoty ustálí na jednotné hodnotě. Pro doplnění hodnot vlhkosti, byly ještě vytvořeny tab. 12 a tab. 13, kde jsou porovnány minimální a maximální hodnoty v jednotlivých letech 2016–2021.

Z grafů je zároveň patrné, že hmotnostní vlhkost materiálu na bázi dřeva nepřekročila 18 % a není tak ohrožena původní funkce konstrukce.

Tab. 12 – Porovnání celkového množství vody v konstrukci

Celkové množství vody v konstrukci			2016	2017	2018	2019	2020	2021
MIN	CPP 450	Před zateplením [kg/m ²]	4,47	3,30	3,18	3,18	3,18	3,18
		Po zateplení [kg/m ²]	7,28	6,10	5,53	5,24	5,09	5,02
MAX	CPP 450	Před zateplením [kg/m ²]	5,55	4,59	3,96	3,96	3,96	3,96
		Po zateplení [kg/m ²]	7,63	7,54	6,61	6,13	5,88	5,78
MIN	CPP 750	Před zateplením [kg/m ²]	7,21	5,69	5,03	4,83	4,80	4,80
		Po zateplení [kg/m ²]	10,16	9,00	8,38	7,95	7,64	7,43
MAX	CPP 750	Před zateplením [kg/m ²]	8,40	7,38	5,89	5,61	5,59	5,58
		Po zateplení [kg/m ²]	10,53	10,40	9,47	8,90	8,50	8,23

Tab. 13 – Porovnání množství vody ve vrstvě měkké a tuhé dřevovláknité desky

Celkové množství vody ve vrstvě			2016	2017	2018	2019	2020	2021
MIN	CPP 450	Měkká dřevovl. deska [kg/m ³]	6,87	6,46	6,19	5,92	5,71	5,61
		Tuhá dřevovl. deska [kg/m ³]	20,34	18,52	17,88	17,44	17,21	17,09
MAX	CPP 450	Měkká dřevovl. deska [kg/m ³]	8,25	7,49	6,76	6,47	6,36	6,21
		Tuhá dřevovl. deska [kg/m ³]	41,01	34,13	31,37	29,88	29,17	28,83
MIN	CPP 750	Měkká dřevovl. deska [kg/m ³]	7,07	6,63	6,44	6,13	5,91	5,78
		Tuhá dřevovl. deska [kg/m ³]	25,55	23,62	22,87	22,54	22,28	22,12
MAX	CPP 750	Měkká dřevovl. deska [kg/m ³]	8,19	7,31	6,94	6,68	6,56	6,35
		Tuhá dřevovl. deska [kg/m ³]	42,65	37,14	35,49	34,33	33,63	33,15

5.6. Vyhodnocení 1D výpočtů

5.6.1. Skladba CPP tl. 450 mm

Tab. 14 – Vyhodnocení skladby CPP tl. 450 mm

Parametr	Označení		CPP tl. 450 mm	CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm
Požadavek na teplotní faktor				
Teplotní faktor - požadavek	$f_{Rsi,N}$	[-]	0,753	0,753
Teplotní faktor	f_{Rsi}	[-]	0,717	0,910
Nejnižší povrchová teplota	T	[°C]	11,380	17,950
Splnění požadavku			NE	ANO
Požadavek na součinitel prostupu tepla				
Součinitel prostupu tepla - požadavek	U_N	[W/m ² .K]	0,30	0,30
Součinitel prostupu tepla	U	[W/m ² .K]	1,310	0,375
Splnění požadavku			NE	NE
Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí				
Max. množství zkondenzované vodní páry	$M_{c,N}$	[kg/m ² .a]	0,500	0,100
Množství zkondenzované vodní páry - dle ČSN 73 0540-4	$M_{c,a}$	[kg/m ² .a]	0,028	0,154
Množství zkondenzované vodní páry - dle ČSN EN ISO 13788	$M_{c,a}$	[kg/m ² .a]	0,000	0,098
Množství vypařitelné vodní páry	$M_{ev,a}$	[kg/m ²]	2,485	0,917
Množství kondenzátu musí být nižší než množství vypařitelné vodní páry			ANO	ANO
Množství kondenzátu musí být nižší než max. množství zkondenzované vodní páry			ANO	NE
Je rovnovážná hmotnostní vlhkost materiálu na bázi dřeva menší než 18 %			-	ANO
Hmotnostní vlhkost vrstev konstrukce se trvale nezvyšuje			-	ANO
Je ohrožena funkce konstrukce			NE	NE

Jak je vidět z tab. 14 skladba po zateplení splňuje požadavky normy ČSN 73 0540 až na požadavek součinitele prostupu tepla. V tomto případě z hlediska aplikace vnitřního zateplení nebyl požadavek na součinitele prostupu tepla rozhodující. V potaz se také brala zmenšovaná plocha zateplováných místností, která by v případě větší tloušťky vnitřní izolace byla větší. Úspora tepla je znatelná už při tloušťce tepelné izolace 80 mm. V případě realizace by tato podmínka musela být splněna, to by se podařilo splnit použitím tepelné izolace v tloušťce min. 120 mm ($U=0,269 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Daleko větší důraz se kladl na to, aby byly splněny požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí. Při základním výpočtu softwarem, který využívá principy Glasserovi metody by konstrukce nevyhověla na požadavky šíření vlhkosti konstrukcí, protože množství kondenzátu je vyšší než maximální dovolené množství kondenzátu v konstrukci. Ale norma ČSN 73 0540 dále umožňuje posoudit konstrukce sofistikovanějším softwarem, který využívá principy podle dr. Kurta Kiessela. Při tomto dynamickém posouzení se prokázalo, že množství kondenzátu v jednotlivých vrstvách konstrukce se nezvyšuje a zároveň hmotnostní vlhkost materiálů na bázi dřeva nepřesahuje 18 % a tím pádem je posuzovaná konstrukce bezpečná.

5.6.2. Skladba CPP tl. 750 mm

Tab. 15 – Vyhodnocení skladby CPP tl. 750 mm

Parametr	Označení		CPP tl. 750 mm	CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm
Požadavek na teplotní faktor				
Teplotní faktor - požadavek	$f_{Rsi,N}$	[-]	0,753	0,753
Teplotní faktor	f_{Rsi}	[-]	0,803	0,921
Nejnižší povrchová teplota	T	[°C]	14,310	18,320
Splnění požadavku			ANO	ANO
Požadavek na součinitel prostupu tepla				
Součinitel prostupu tepla - požadavek	U_N	[W/m ² .K]	0,30	0,30
Součinitel prostupu tepla	U	[W/m ² .K]	0,869	0,327
Splnění požadavku			NE	NE
Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí				
Max. množství zkondenzované vodní páry	$M_{c,N}$	[kg/m ² .a]	0,500	0,100
Množství zkondenzované vodní páry - dle ČSN 73 0540-4	$M_{c,a}$	[kg/m ² .a]	0,012	0,113
Množství zkondenzované vodní páry - dle ČSN EN ISO 13788	$M_{c,a}$	[kg/m ²]	0,000	0,057
Množství vypařitelné vodní páry	$M_{ev,a}$	[kg/m ² .a]	1,739	0,828
Množství kondenzátu musí být nižší než množství vypařitelné vodní páry			ANO	ANO
Množství kondenzátu musí být nižší než max. množství zkondenzované vodní páry			ANO	NE
Je rovnovážná hmotnostní vlhkost materiálu na bázi dřeva menší než 18 %			-	ANO
Hmotnostní vlhkost vrstev konstrukce se trvale nezvyšuje			-	ANO
Je ohrožena funkce konstrukce			NE	NE

Jak je vidět z tab. 15 skladba po zateplení splňuje požadavky normy ČSN 73 0540 až na požadavek součinitele prostupu tepla. V tomto případě z hlediska aplikace vnitřního zateplení nebyl požadavek na součinitele prostupu tepla rozhodující. V potaz se také brala zmenšovaná plocha zateplováných místností, která by v případě větší tloušťky vnitřní izolace byla větší. Úspora tepla je znatelná už při tloušťce tepelné izolace 80 mm. V případě realizace by tato podmínka musela být splněna, to by se podařilo splnit použitím tepelné izolace v tloušťce min. 120 mm ($U=0,243 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Daleko větší důraz se kladl na to, aby byly splněny požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí. Při základním výpočtu softwarem, který využívá principy Glasserovi metody by konstrukce neměla šanci vyhovět na požadavky šíření vlhkosti konstrukcí, protože množství kondenzátu je vyšší než maximální dovolené množství kondenzátu v konstrukci. Ale norma ČSN 73 0540 dále umožňuje posoudit konstrukce sofistikovanějším softwarem, který využívá principy podle dr. Kurta Kiessela. Při tomto dynamickém posouzení se prokázalo, že množství kondenzátu v jednotlivých vrstvách konstrukce se nezvyšuje a zároveň hmotnostní vlhkost materiálů na bázi dřeva nepřesahuje 18 % a tím pádem je posuzovaná konstrukce bezpečná.

5.6.3. Skladba děrovaných cihel tl. 300 mm

Tab. 16 – Vyhodnocení skladby děrované cihly tl. 300 mm

Parametr	Označení		Cihly děrované tl. 300 mm	Cihly děrované tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm
Požadavek na teplotní faktor				
Teplotní faktor - požadavek	$f_{Rsi,N}$	[-]	0,753	0,753
Teplotní faktor	f_{Rsi}	[-]	0,700	0,909
Nejnižší povrchová teplota	T	[°C]	10,800	17,890
Splnění požadavku			NE	ANO
Požadavek na součinitel prostupu tepla				
Součinitel prostupu tepla - požadavek	U_N	[W/m ² .K]	0,30	0,30
Součinitel prostupu tepla	U	[W/m ² .K]	1,402	0,382
Splnění požadavku			NE	NE
Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí				
Max. množství zkondenzované vodní páry	$M_{c,N}$	[kg/m ² .a]	0,500	0,100
Množství zkondenzované vodní páry - dle ČSN 73 0540-4	$M_{c,a}$	[kg/m ² .a]	0,089	0,079
Množství zkondenzované vodní páry - dle ČSN EN ISO 13788	$M_{c,a}$	[kg/m ²]	0,000	0,018
Množství vypařitelné vodní páry	$M_{ev,a}$	[kg/m ² .a]	4,623	1,283
Množství kondenzátu musí být nižší než množství vypařitelné vodní páry			ANO	ANO
Množství kondenzátu musí být nižší než max. množství zkondenzované vodní páry			ANO	ANO
Je ohrožena funkce konstrukce			NE	NE

Jak je vidět z tab. 16 skladba po zateplení splňuje požadavky normy ČSN 73 0540 až na požadavek součinitele prostupu tepla. V tomto případě z hlediska aplikace vnitřního zateplení nebyl požadavek na součinitele prostupu tepla rozhodující. V potaz se také brala zmenšovaná plocha zatepovaných místností, která by v případě větší tloušťky vnitřní izolace byla větší. Úspora tepla je znatelná už při tloušťce tepelné izolace 80 mm. V případě realizace by tato podmínka musela být, to by se podařilo splnit použitím tepelné izolace v tloušťce min. 120 mm ($U=0,272 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Daleko větší důraz se kladl na to, aby byly splněny požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí. Již při základním výpočtu softwarem, který využívá principy Glasserovi metody konstrukce vyhověla na požadavky šíření vlhkosti konstrukcí a množství kondenzátu je nižší než maximální dovolené množství kondenzátu v konstrukci.

6. Výpočet 3D modelů

V této kapitole jsou řešeny jednotlivé 3D modely na východní fasádě objektu vedené arkýřem. Výpočty modelů jsou provedeny v programu COMSOL Multiphysics. Výpočetní program COMSOL Multiphysics k řešení úloh využívá metodu konečných prvků a je uvažován stacionární stav.

Kapitola je rozdělena na tři základní podkapitoly podle uvažovaného stavu objektu:

- Modely původního stavu
- Modely s přerušenou tepelnou izolací
- Modely s průběžnou tepelnou izolací

Pro zajímavost je zde uvedena i kapitola, která se zabývá porovnáním výpočtu relativní vlhkosti v programu COMSOL Multiphysics a v programu Area 2014.

Geometrie modelů odpovídá původní projektové dokumentaci, která byla poskytnuta správcem objektu. Původně bylo počítáno s půdorysnou geometrií modelu celého arkýře, ale z výpočetní kapacity počítačové techniky byl model omezen pouze na polovinu, kdy byly modely rozděleny v ose symetrie.

Geometrie modelů a veškeré materiálové charakteristiky použitých materiálů jsou popsány v kapitole 4.

6.1. Okrajové podmínky

Okrajové podmínky výpočtu pro interiér byly zvoleny pro obytné místnosti a okrajové podmínky výpočtu pro exteriér byly zvoleny podle lokality, kde se objekt nachází, zde je to Praha. Okrajové podmínky jsou shrnuty níže v tab. 17.

Tab. 17 – Okrajové podmínky 3D výpočtu

Návrhová venkovní teplota	θ_e	[°C]	-13
Návrhová teplota vnitřního vzduchu	θ_i	[°C]	21
Návrhová relativní vlhkost vnějšího vzduchu	φ_e	[%]	84
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu	φ_i	[%]	50
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	[m ² .K/W]	0,04
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce - obvodová stěna	R_{si}	[m ² .K/W]	0,13
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce - podlaha	R_{se}	[m ² .K/W]	0,17
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce - strop	R_{se}	[m ² .K/W]	0,1
Součinitel přestupu vodní páry na vnějším povrchu	β_e	[m/s]	0,0076
Součinitel přestupu vodní páry na vnitřním povrchu	β_i	[m/s]	0,0236

V rámci 3D výpočtů nebylo při výpočtech počítáno s přenosem tepla pomocí konvekce a pomocí sálání, z důvodu náročnosti posuzovaných detailů a výpočetní kapacity počítačové techniky.

COMSOL Multiphysics má relativní vlhkost omezenou na hodnotu 100 %, což způsobuje, že výsledná kondenzace vodní páry v detailech je větší než by odpovídalo přesnějšímu výpočtu. Pro výsledky s lepší přesností by musel být proveden mnohem složitější výpočet, v rámci kterého by musel být proveden větší zásah do výpočetního programu.

Relativní vlhkost je počítána jako poměr mezi koncentrací vodní páry a koncentrací nasycené vodní páry. Koncentrace nasycené vodní páry je zjištěna v závislosti na teplotě a parciálním tlaku nasycené vodní páry. Difuzní vodivost materiálu [m²/s] je odvozena z faktoru difuzního odporu materiálu a difuzní vodivosti vzduchu [20]:

$$D = \frac{D_a}{\mu} \quad (14)$$

D difuzní vodivost materiálu [m²/s]

D_a difuzní vodivost vzduchu – 25.10⁻⁶ [m²/s]

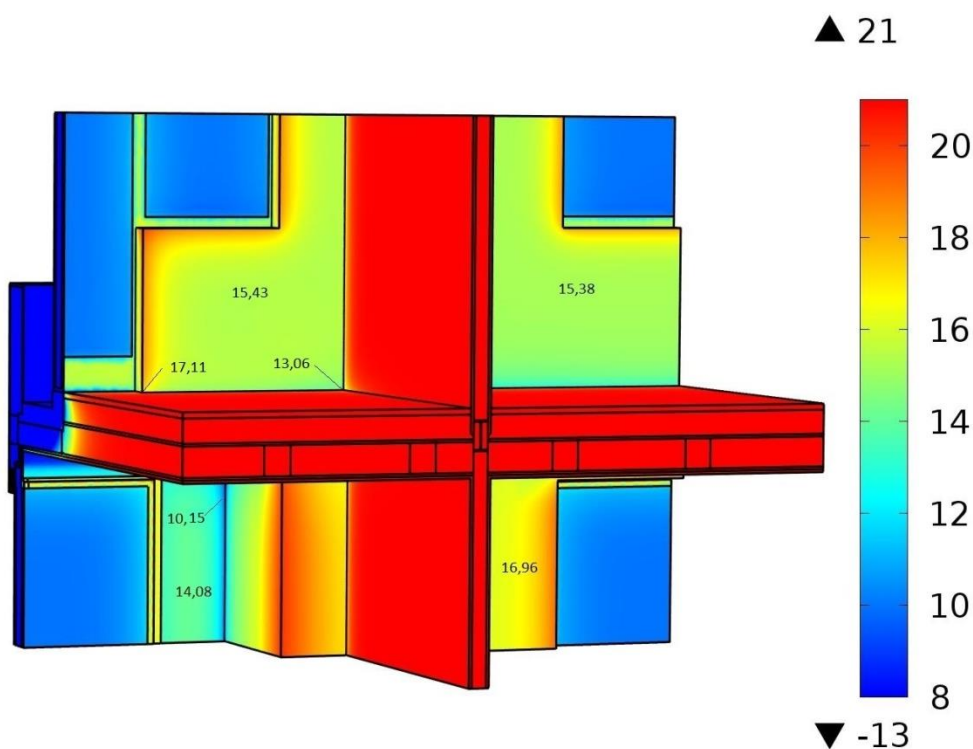
μ faktor difuzního odporu materiálu [-]

6.2. Původní stav

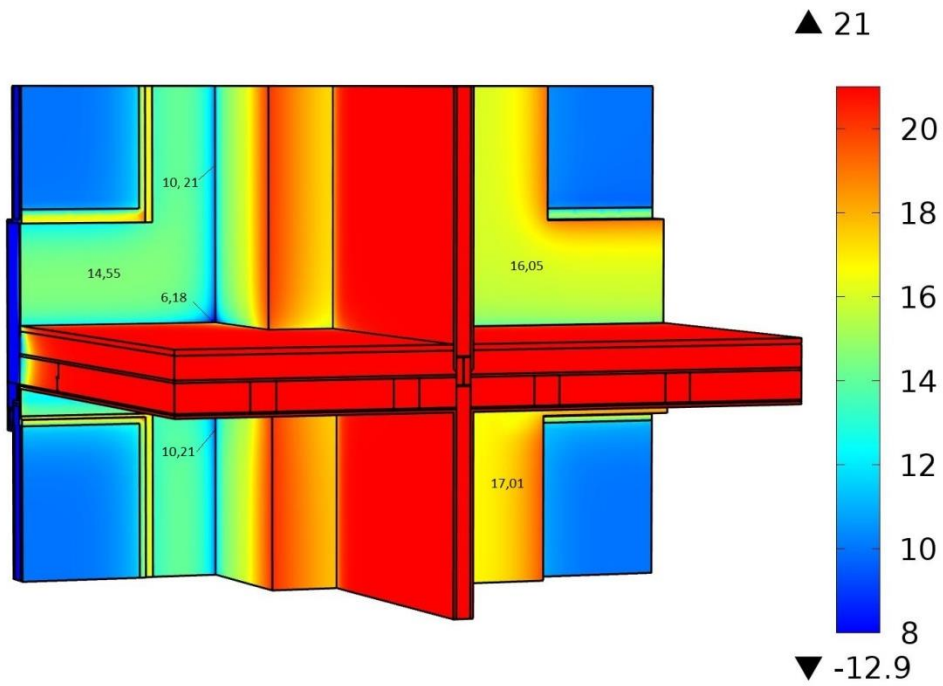
6.2.1. Povrchové teploty

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech původního stavu vykresleny interiérové povrchové teploty, které jsou porovnány s požadavkem na kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{Rsi,N}$ dle ČSN 75 0540. Pro dané okrajové podmínky je $f_{Rsi,N} = 0,753$, této hodnotě $f_{Rsi,N}$ odpovídá minimální teplota vnitřního povrchu 12,60 °C.

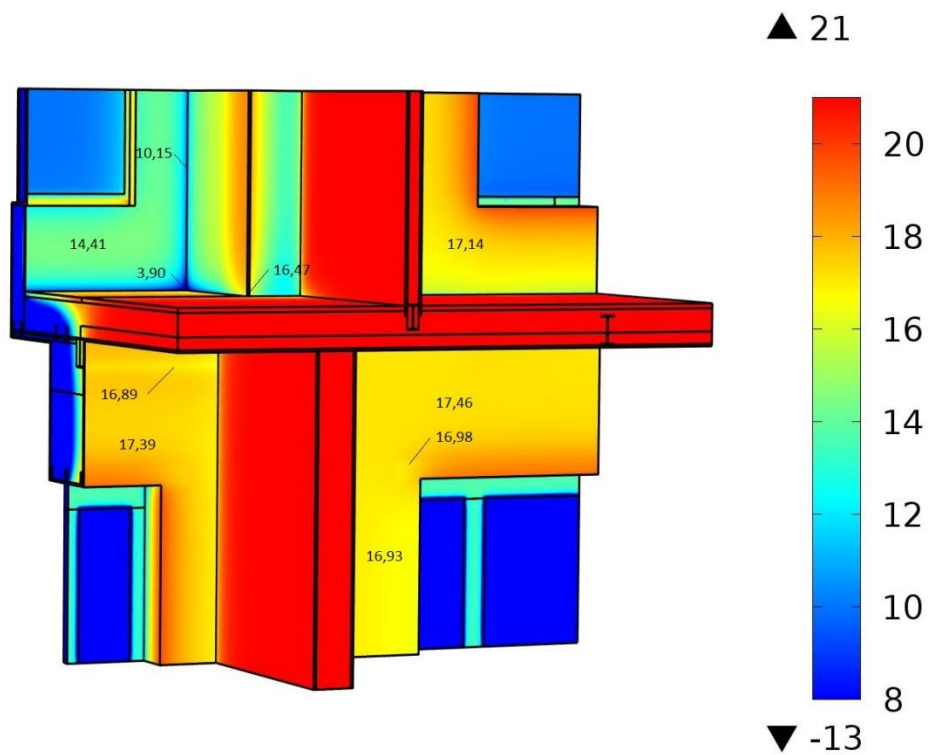
V ploše obvodových stěn teplota přesahuje minimální povolenou teplotu. Když se ale zaměříme na jednotlivé problémové detaily, jako je napojení stropní konstrukce na obvodovou stěnu, rohy stěn nebo napojení rámu oken a zdiva, požadavek už splněn není. V těchto oblastech může dojít ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce a následnému růstu plísní. V jednotlivých detailech je vždy vidět, že nejvíce problémové místo bude v místě napojení obvodových stěn s podlahou a v rohu obvodových stěn arkýře. S tím jak se po výšce objektu zmenšuje i tloušťka obvodového zdiva je vidět i snižující se povrchová teplota v interiéru. V modelu 1. NP/2.NP můžeme dokonce vidět částečné propsání ocelových I profilů na vnitřním povrchu, kdy dojde ke snížení povrchové teploty z 17,39 °C na 16,89 °C.



Obr. 56 – Vnitřní povrchové teploty 4.NP / 5. NP



Obr. 57 – Vnitřní povrchové teploty 3.NP / 4. NP

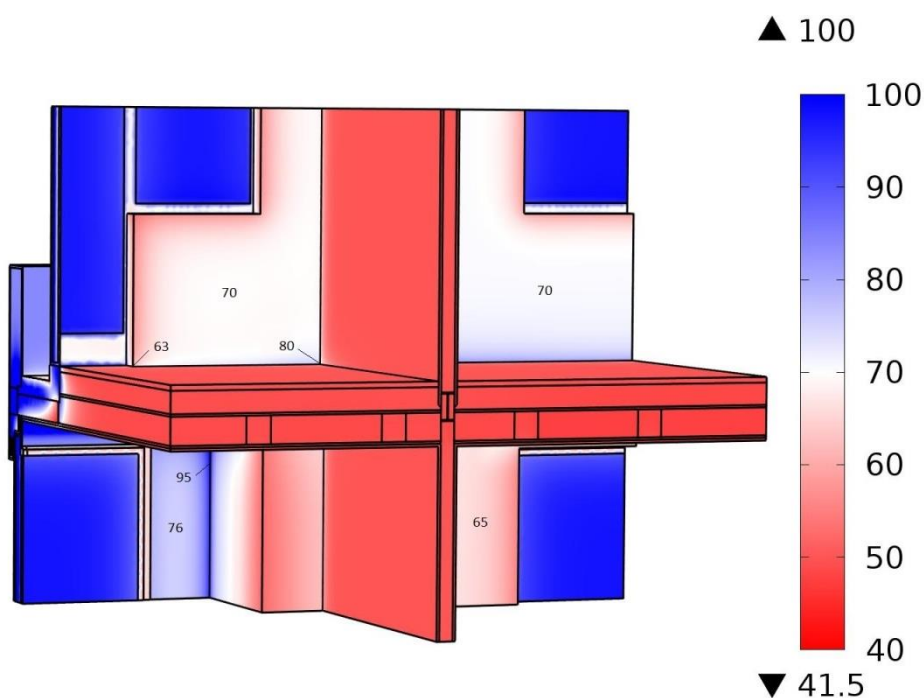


Obr. 58 – Vnitřní povrchové teploty 1. NP / 2. NP

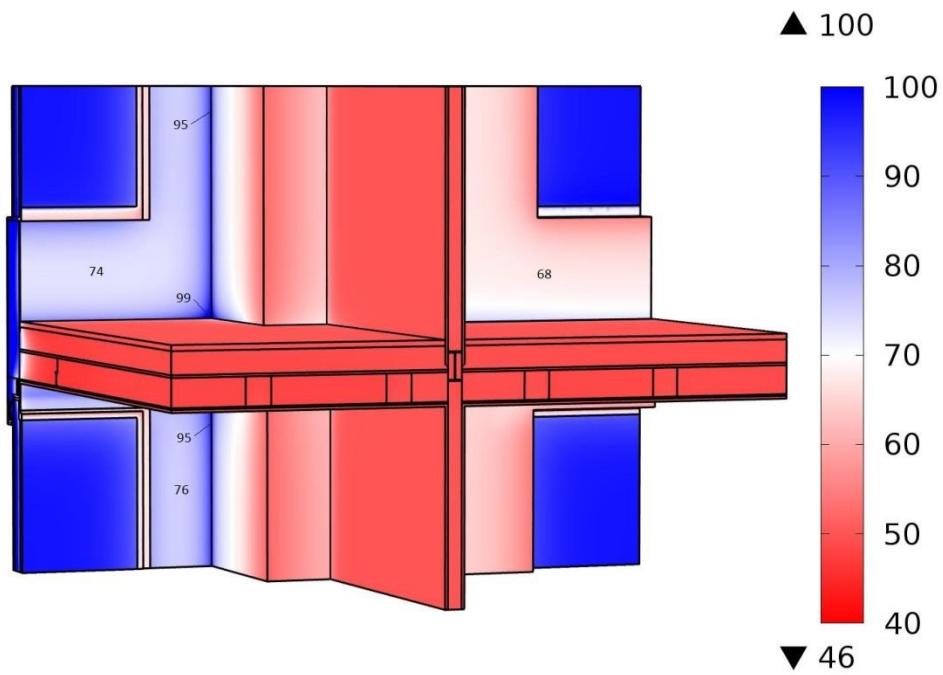
6.2.2. Relativní vlhkosti

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech původního stavu vykresleny relativní vlhkosti konstrukcí v interiéru. Relativní vlhkost úzce souvisí s teplotou. Pokud klesne povrchová teplota v interiéru pod požadovanou minimální teplotu, dojde na povrchu konstrukce ke kondenzaci vodní páry a následnému růstu plísní. Pro růst plísní se považuje hranice 80 % relativní vlhkosti jako kritická. Pokud se relativní vlhkost na povrchu konstrukce pohybuje do 80 % a teplota není pod teplotou rosného bodu, nemělo by dojít k rozvoji a růstu plísní.

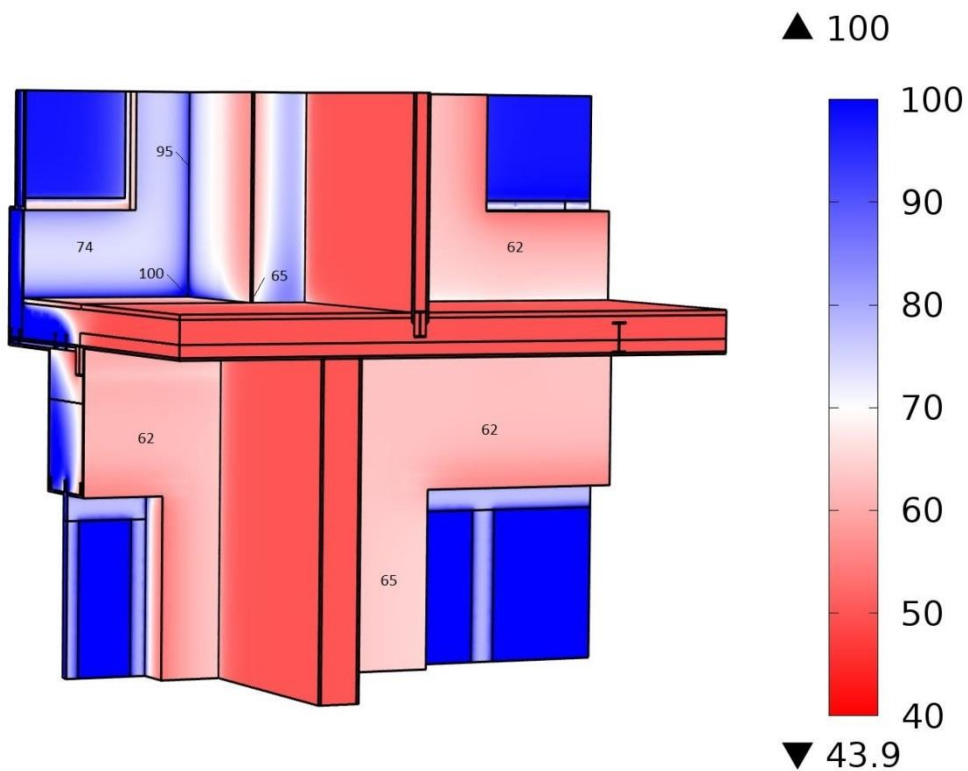
Jak je vidět ze všech modelovaných detailů z obvodového zdiva je nejvíce ohrožené obvodové děrované zdivo arkýře, kde vlhkost na povrchu konstrukce dosahuje až 75 %. Obvodové zdivo z cihel plných pálených nepřesahuje vlhkost 70 %. Nejvíce ohrožené růstem plísní jsou však jednotlivé problémové detaily, jako je napojení stropní konstrukce na obvodovou stěnu, rohy stěn nebo napojení rámců oken a zdiva, kde vlhkost přesahuje hranici 80 %.



Obr. 59 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru – 4. NP / 5.NP



Obr. 60 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru 3. NP / 4. NP

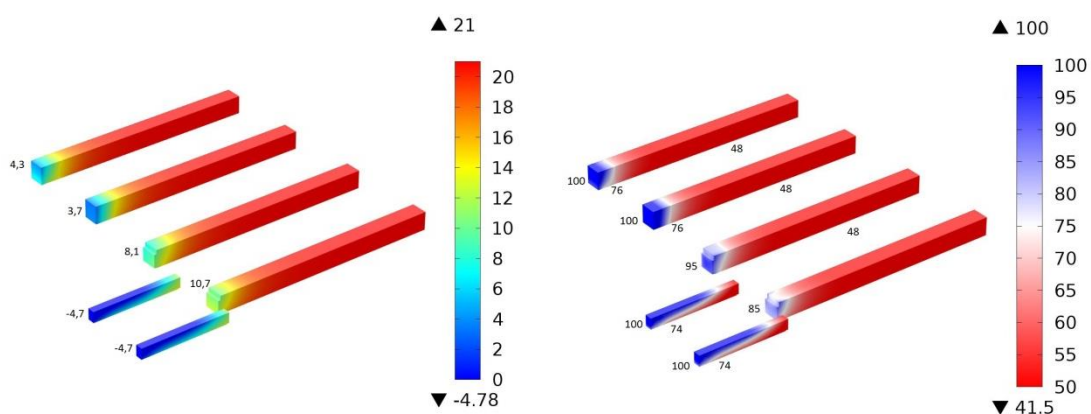


Obr. 61 – Relativní vlhkost povrchu konstrukcí v interiéru – 1. NP / 2. NP

6.2.3. Zhlaví trámů

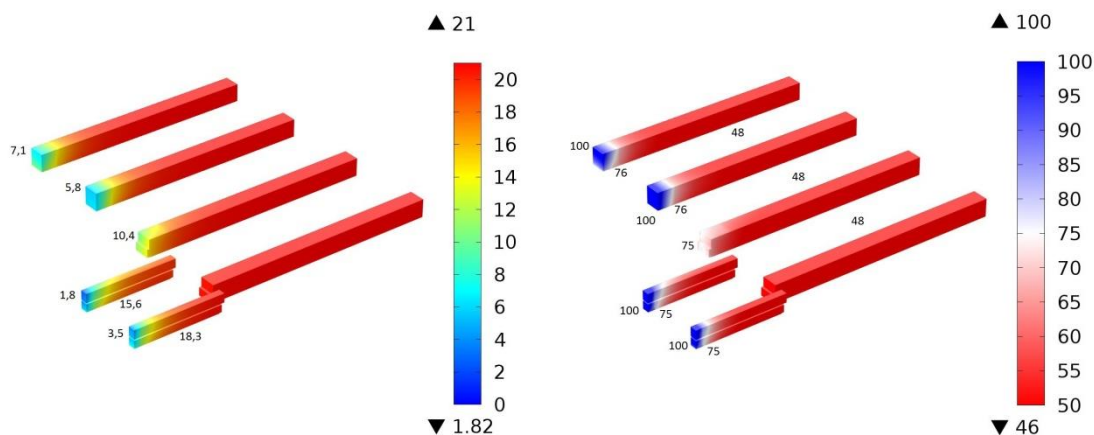
Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech původního stavu vykresleny povrchové teploty a relativní vlhkosti dřevěných trámů ve stropní konstrukci v původním nezatepleném stavu. Na obrázcích je vidět průběžný a plynulý přechod rozdílu teplot a relativních vlhkostí v oblasti trámových zhlaví.

Nejvíce je ohrožena funkce dřevěných trámů ve stropní konstrukci arkýře pod balkónem. Minimální teplota těchto trámových zhlaví dosahuje až $-4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. S délkou trámu se teplota zvyšuje a to díky vlivu okolních konstrukcí, které přenášejí teplo. Minimální teplota trámového zhlaví v obvodové stěně neklesá pod bod mrazu a je $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva je 100 %. Minimální teplota trámového zhlaví, které není ve styku s obvodovou konstrukcí, je $10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho relativní vlhkost je 85 %. Ve všech trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, dochází ke kondenzaci a je ohrožena jejich funkce.



Obr. 62 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 4. NP / 5. NP

U trámových zhlaví v běžném podlaží, v tomto případě 3. NP/4. NP jsou teploty trámových zhlaví vyšší než v podlaží posledním, kde je arkýř ukončen balkónem. Minimální teplota zhlaví trámu ve stropní konstrukci arkýře neklesá pod bod mrazu a je $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Minimální teplota trámového zhlaví v obvodové stěně je $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva je 100 %. Minimální teplota trámového zhlaví, které není ve styku s obvodovou konstrukcí, je $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho relativní vlhkost je 48 %. Ve všech trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, dochází ke kondenzaci a je ohrožena jejich funkce.

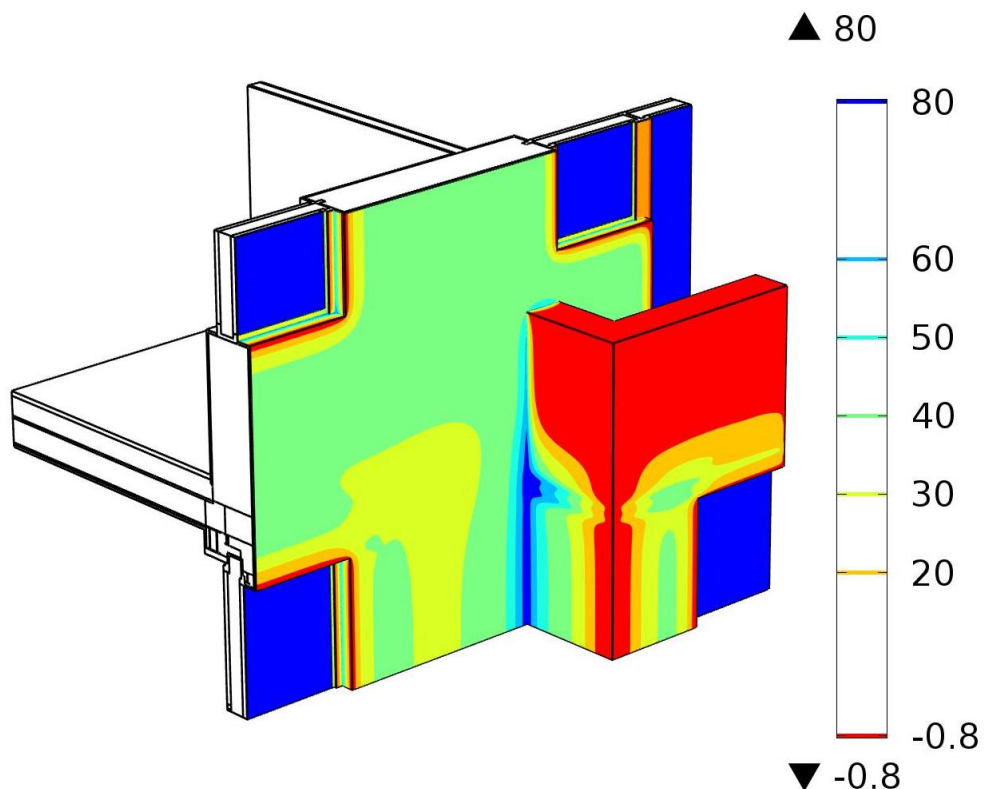


Obr. 63 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 3. NP / 4. NP

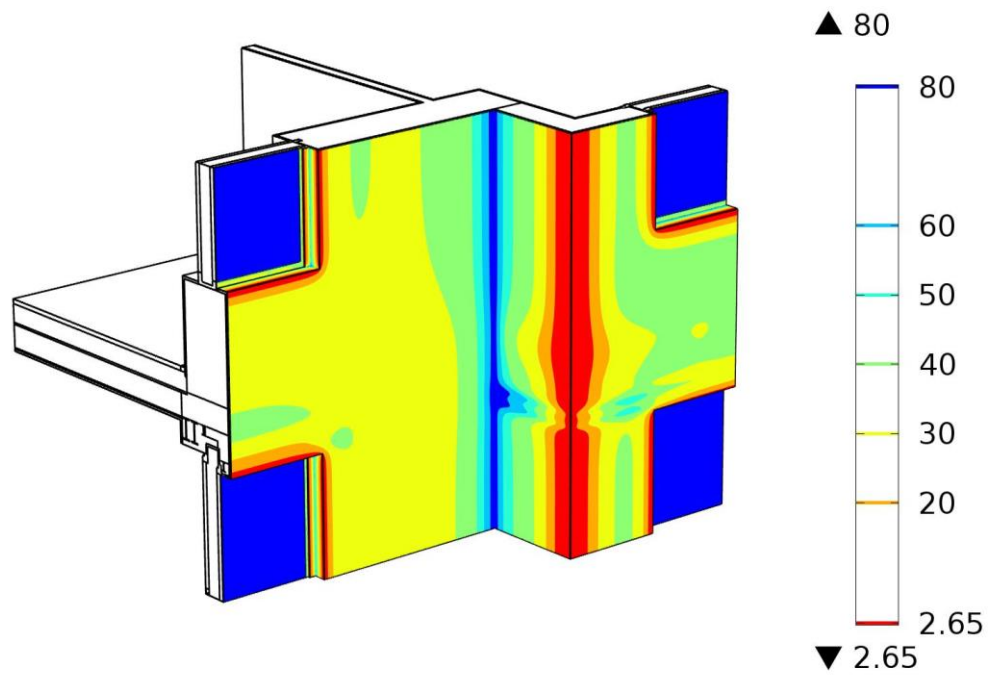
6.2.4. Tepelné toky

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech původního stavu vykresleny tepelné toky na vnějším povrchu ve W/m^2 .

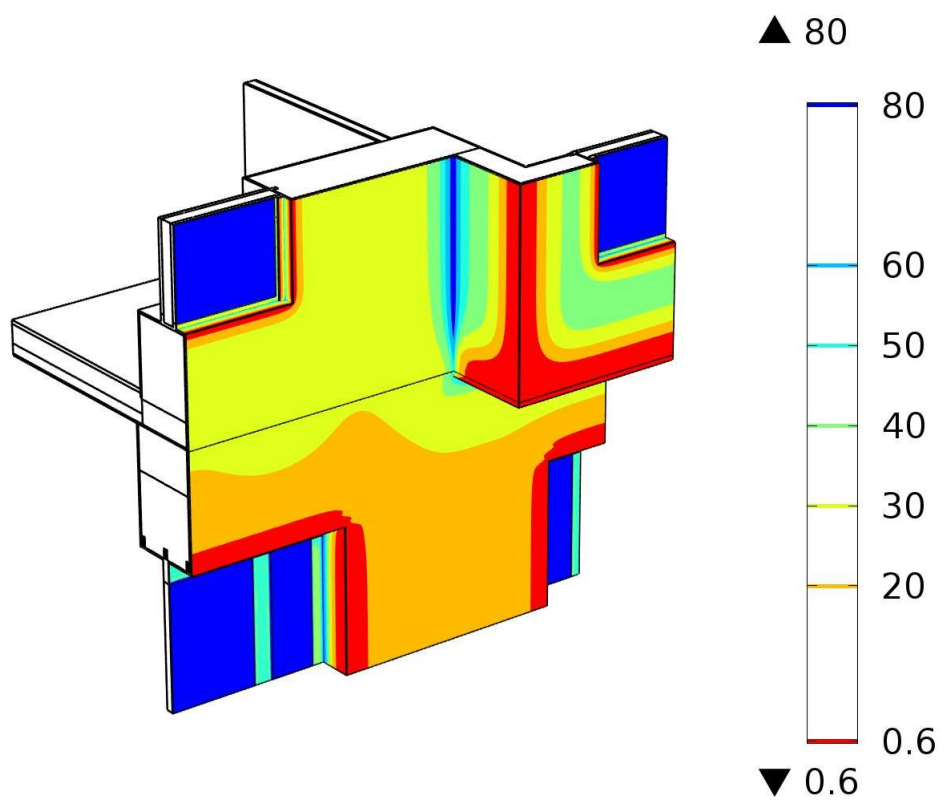
Jak je vidět z obrázků největšími úniky tepla dochází okenními a dveřními výplněmi. Poté následují tepelné mosty u stropní konstrukce arkýře, kde jsou znatelně vykresleny ocelové I profil pomocí kterých je arkýř vykonzolován a zároveň slouží jako okenní překlady.



Obr. 64 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 4. NP / 5.NP



Obr. 65 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 3. NP / 4.NP



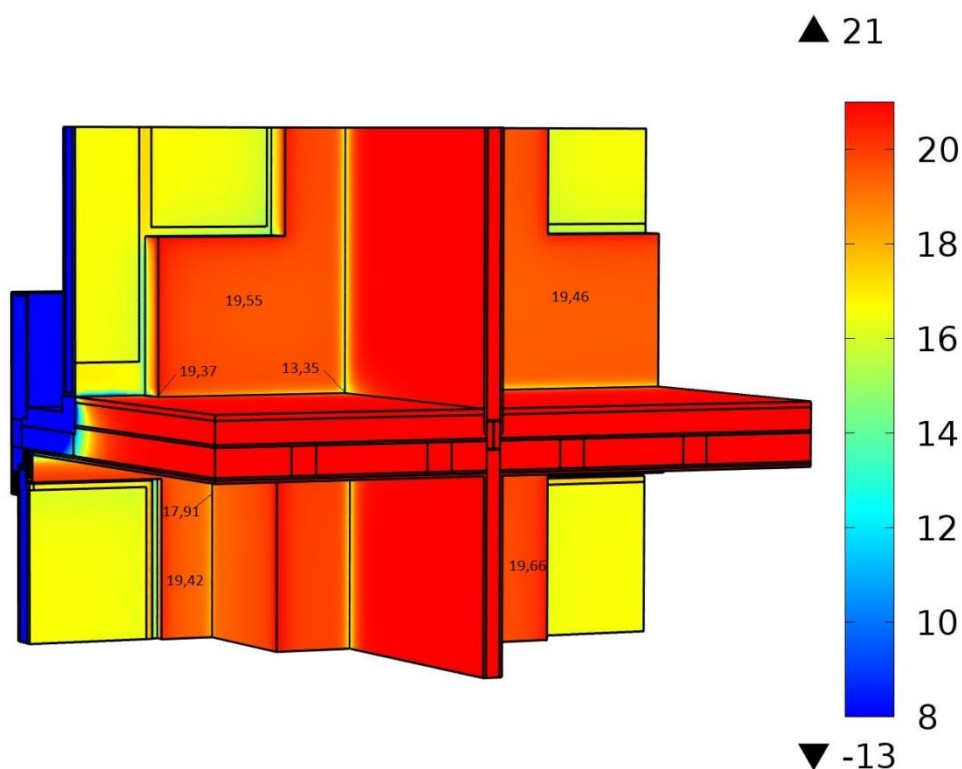
Obr. 66 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 1. NP / 2.NP

6.3. Model s přerušenou tepelnou izolací

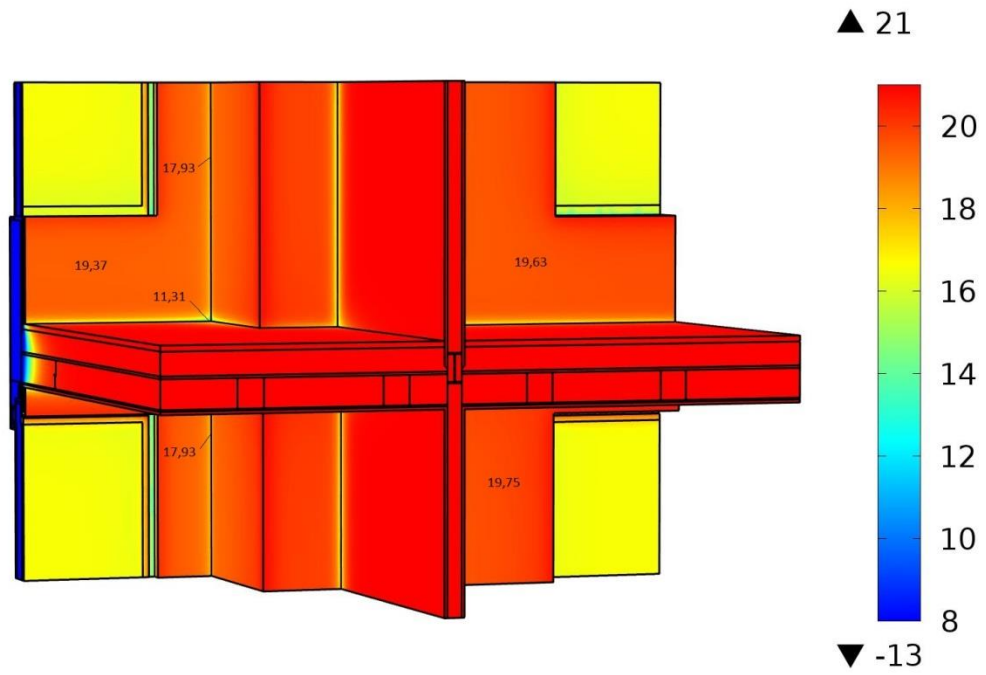
6.3.1. Povrchové teploty

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s přerušenou tepelnou izolací vykresleny interiérové povrchové teploty, které jsou porovnány s požadavkem na kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{R_{si,N}}$ dle ČSN 75 0540. Pro dané okrajové podmínky je $f_{R_{si,N}} = 0,753$, této hodnotě $f_{R_{si,N}}$ odpovídá minimální teplota vnitřního povrchu 12,60 °C.

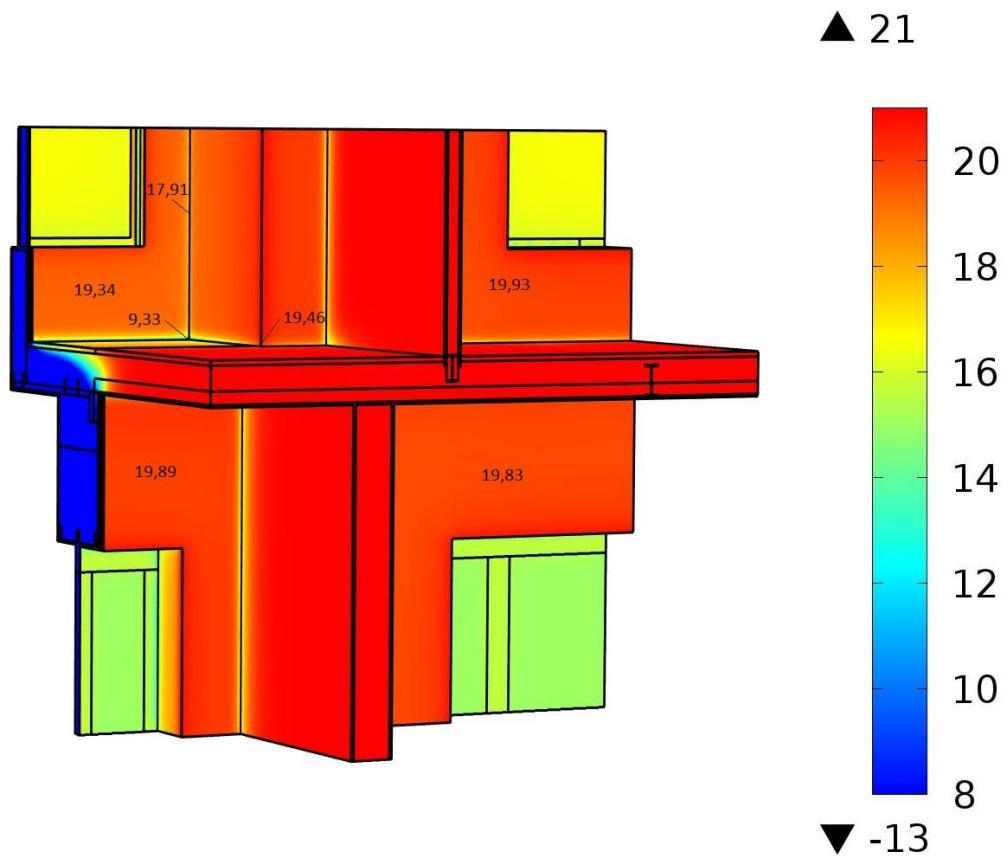
Po zateplení objektu s přerušenou tepelnou izolací dojde k významnému zvýšení povrchových teplot v interiéru. Avšak v napojení stropní konstrukce na obvodové zdivo arkýře povrchová teplota nepřesáhne minimální teplotu vnitřního povrchu. Tento detail zůstává tedy stále problémový a v této oblasti může dojít ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce a následnému růstu plísní. V modelu 1. NP/2. NP došlo k vyrovnání povrchových teplot na obvodovém zdivu a nejsou znát rozdíly teplot v místě, kde je uložený ocelový I profil.



Obr. 67 – Vnitřní povrchové teploty 4.NP / 5. NP



Obr. 68 – Vnitřní povrchové teploty 3. NP / 4. NP

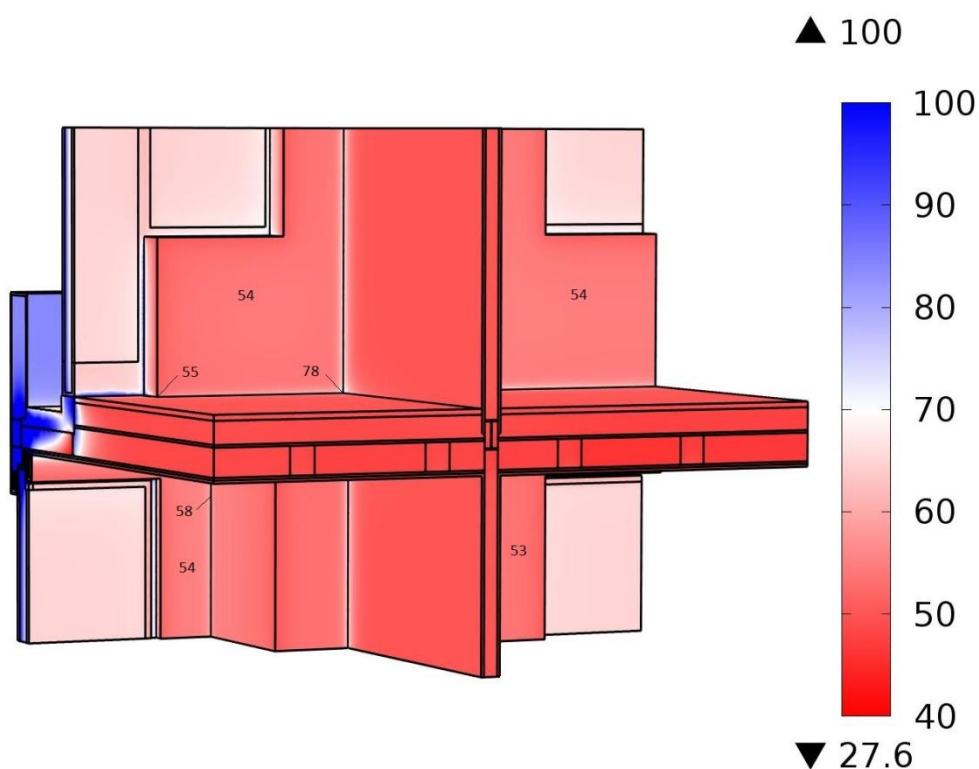


Obr. 69 – Vnitřní povrchové teploty 1. NP / 2. NP

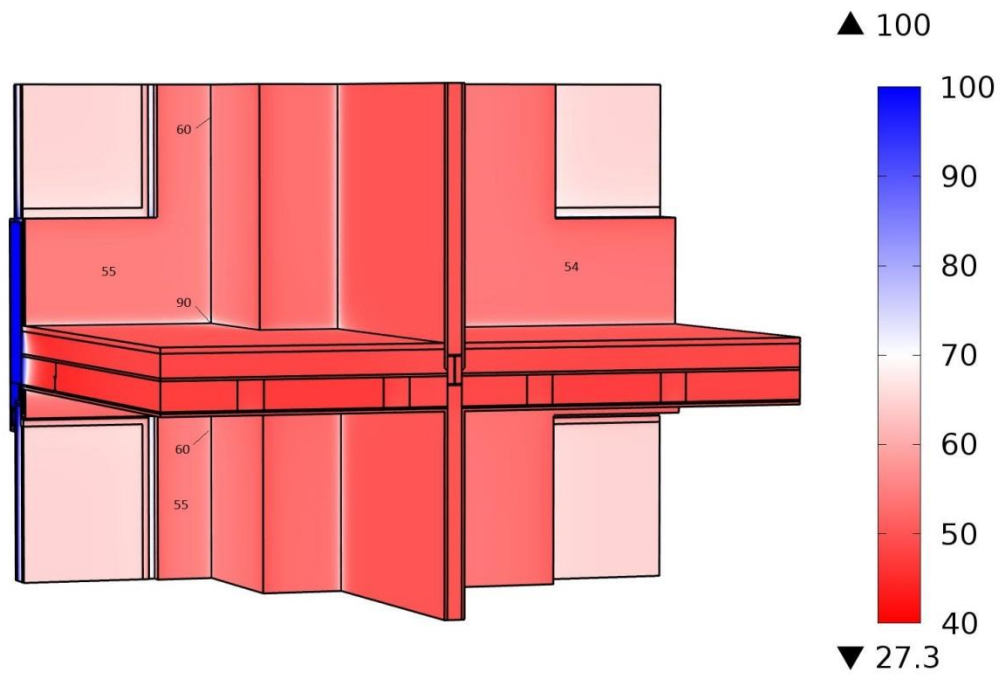
6.3.2. Relativní vlhkosti

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s přerušenou tepelnou izolací vykresleny relativní vlhkosti konstrukcí v interiéru. Relativní vlhkost úzce souvisí s teplotou. Pokud klesne povrchová teplota v interiéru pod požadovanou minimální teplotu, dojde na povrchu konstrukce ke kondenzaci vodní páry a následnému růstu plísní. Pro růst plísní se považuje hranice 80 % relativní vlhkosti jako kritická. Pokud se relativní vlhkost na povrchu konstrukce pohybuje do 80 % a teplota není pod teplotou rosného bodu, nemělo by dojít k rozvoji a růstu plísní.

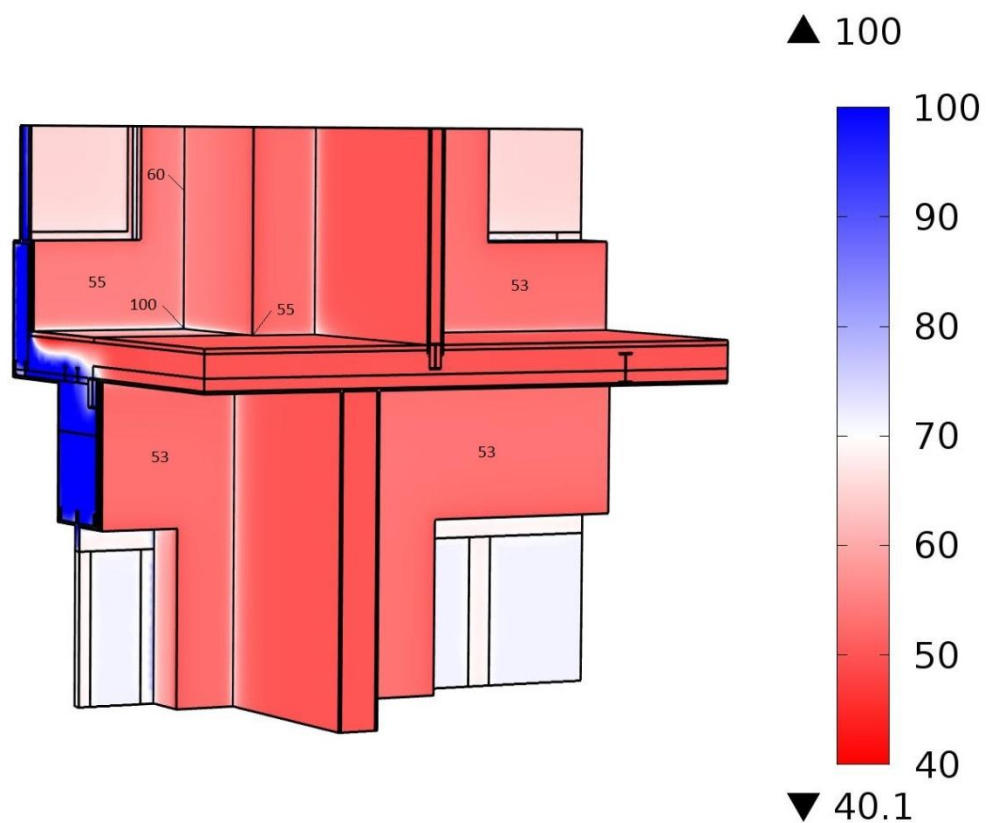
Po zateplení objektu přerušenou tepelnou izolací dojde k významnému zvýšení povrchových teplot v interiéru a tím pádem dojde ke snížení relativní vlhkosti konstrukcí v interiéru. Jak je vidět ze všech modelovaných detailů v ploše obvodového zdiva dojde ke snížení relativní vlhkosti na přibližně 55 %, v rozích obvodových stěn je to pak 60 %. V detailu napojení obvodové konstrukce se stropní konstrukcí je stále relativní vlhkost na hodnotě 90–100 % a v tomto místě dochází ke kondenzaci.



Obr. 70 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru – 4. NP / 5.NP



Obr. 71 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru 3. NP / 4. NP

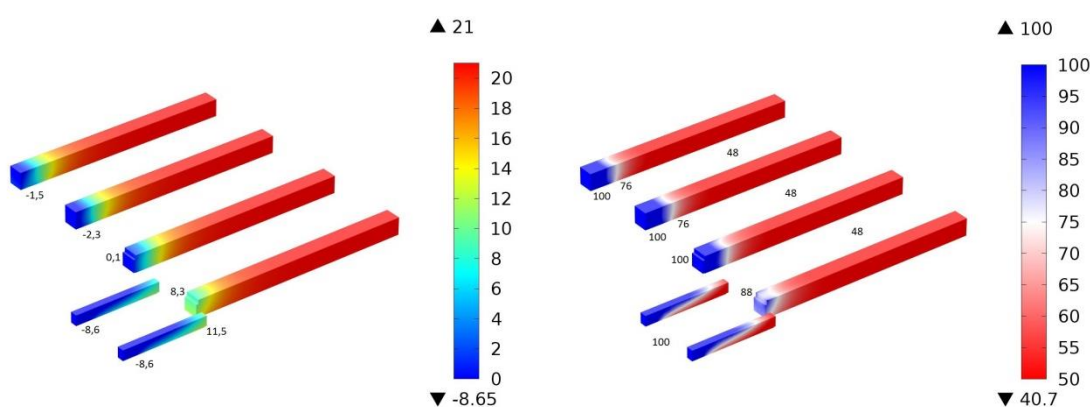


Obr. 72 – Relativní vlhkost povrchu konstrukcí v interiéru – 1. NP / 2. NP

6.3.3. Zhlaví trámů

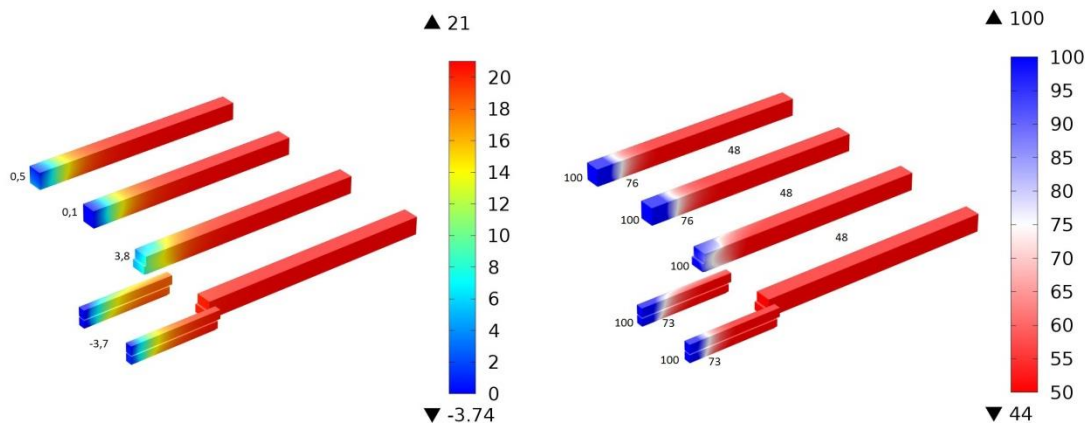
Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s přerušenou tepelnou izolací v místě stropní konstrukce vykresleny povrchové teploty a relativní vlhkosti dřevěných trámů ve stropní konstrukci. Při vnitřním zateplení došlo k izolaci trámových zhlaví od ostatních konstrukcí a jejich teplota se tak v zimním období výrazně snížila. Po zateplení také došlo k výraznému zvětšení oblasti kondenzace u trámových zhlaví.

Nejvíce je ohrožena funkce dřevěných trámů ve stropní konstrukci arkýře pod balkónem. Minimální teplota těchto trámových zhlaví dosahuje až $-8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. S délkou trámu se teplota zvyšuje a to díky vlivu okolních konstrukcí, které přenášejí teplo. Minimální teplota trámového zhlaví v obvodové stěně je $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva je 100 %. Minimální teplota trámového zhlaví, které není ve styku s obvodovou konstrukcí, je $8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho relativní vlhkost je 88 %. Ve všech trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, dochází ke kondenzaci a je ohrožena jejich funkce.



Obr. 73 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 4. NP / 5. NP

U trámových zhlaví v běžném podlaží, v tomto případě 3. NP/4. NP jsou teploty trámových zhlaví vyšší než v podlaží posledním, kde je arkýř ukončen balkónem. Minimální teplota zhlaví trámu ve stropní konstrukci arkýře je $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Minimální teplota trámového zhlaví v obvodové stěně lehce přesahuje bod mrazu a je $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva je 100 %. Minimální teplota trámového zhlaví, které není ve styku s obvodovou konstrukcí, je $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho relativní vlhkost je 48 %. Ve všech trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, dochází ke kondenzaci a je ohrožena jejich funkce.

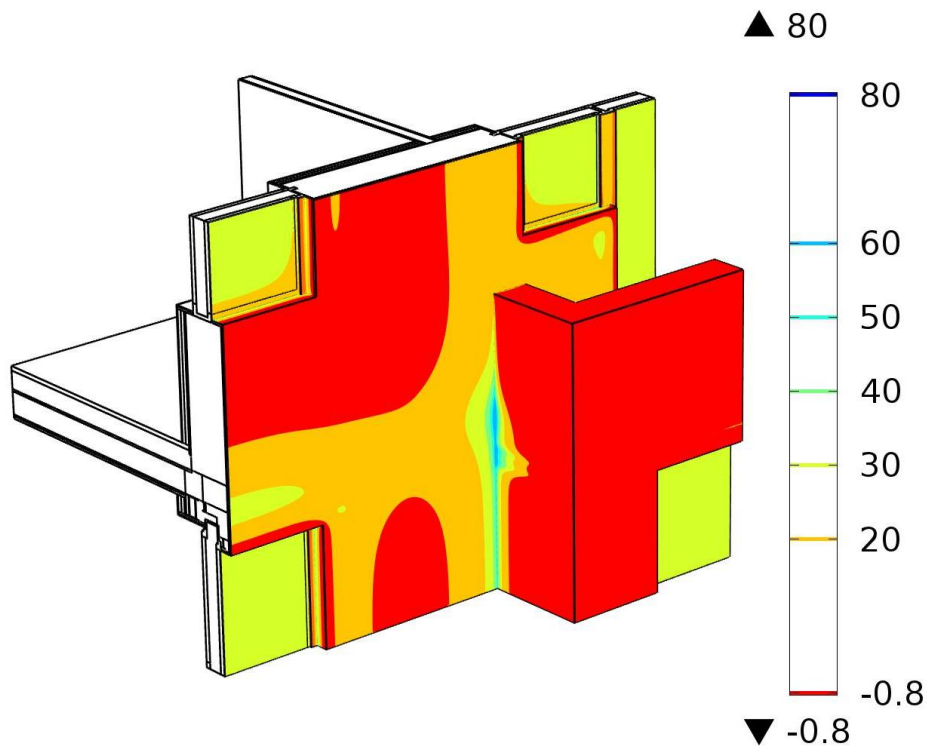


Obr. 74 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 3. NP / 4. NP

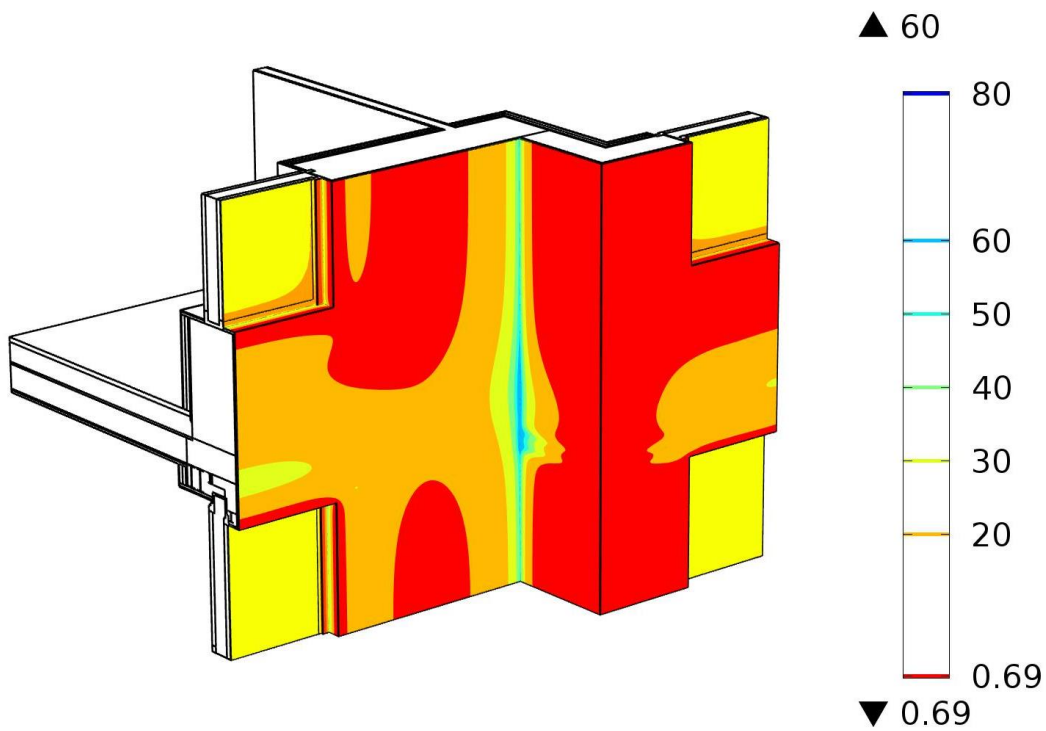
6.3.4. Tepelné toky

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s přerušenou tepelnou izolací vykresleny tepelné toky na vnějším povrchu ve W/m^2 .

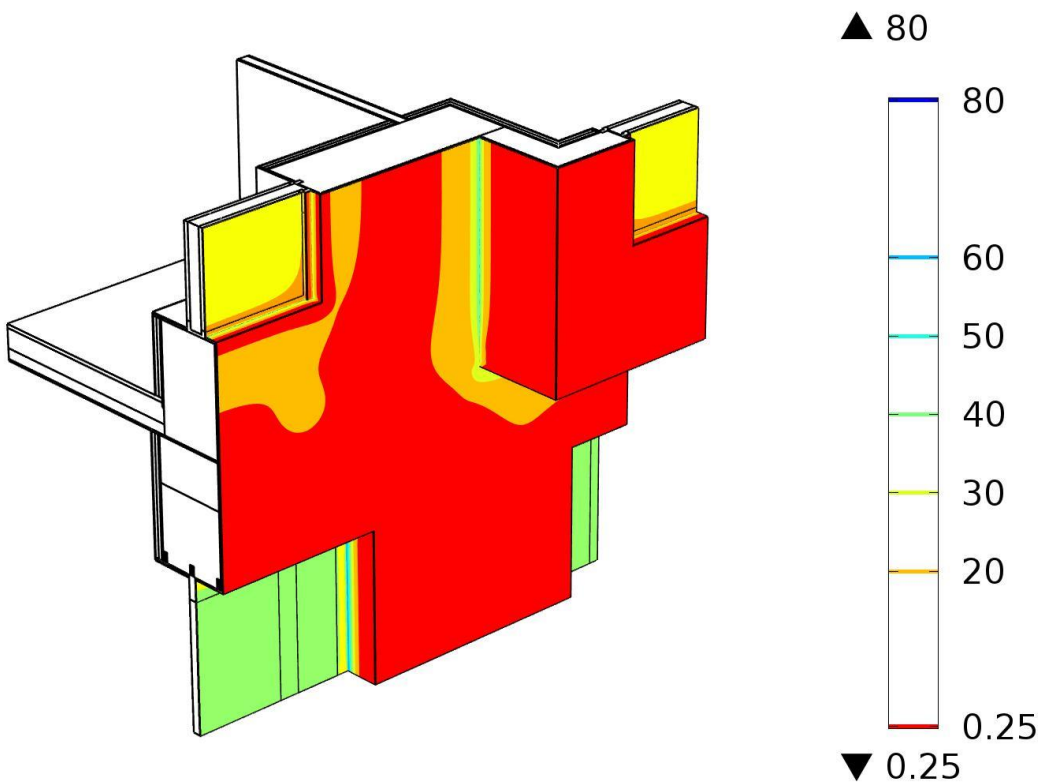
Jak je vidět z obrázků, po zateplení a výměně okenních a dveřních výplní došlo k výraznému snížení tepelných toků na vnějším povrchu. U tepelných mostů stropní konstrukce arkýře došlo k jejich výraznému snížení, ale i tak můžeme pořád vidět vykresleny ocelové I profily.



Obr. 75 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 4. NP / 5.NP



Obr. 76 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 3.NP / 4. NP



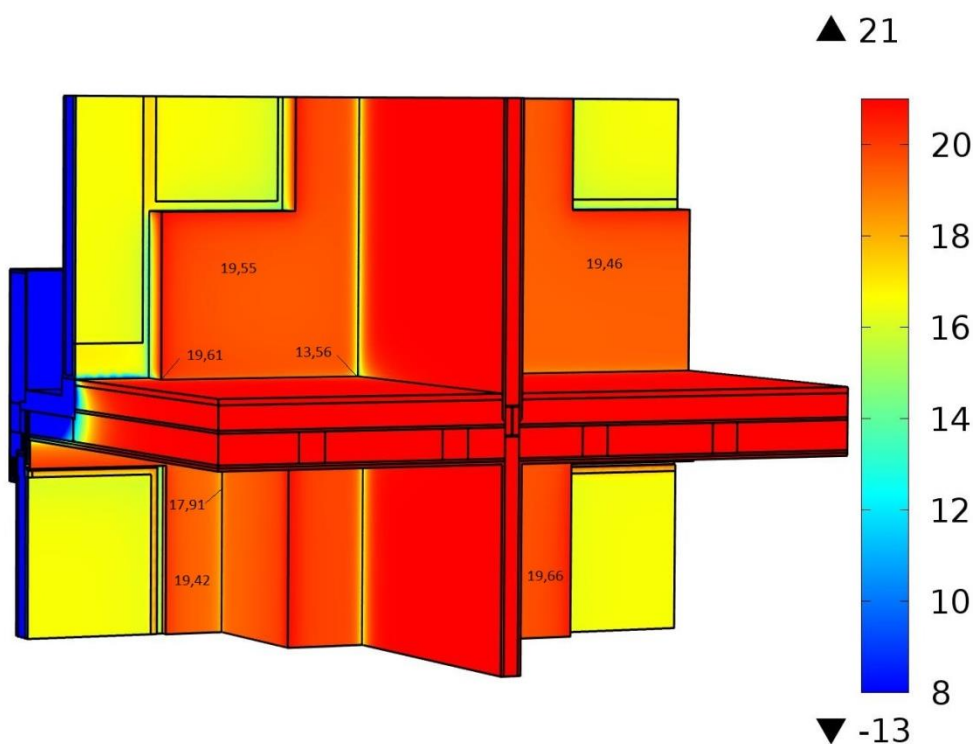
Obr. 77 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 1. NP / 2.NP

6.4. Model s průběžnou tepelnou izolací

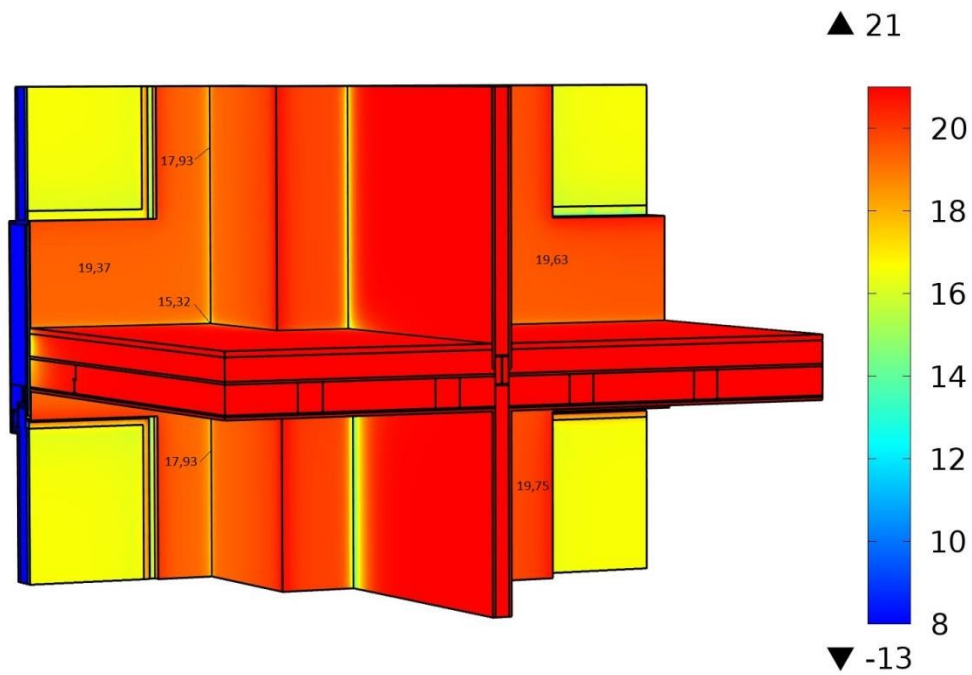
6.4.1. Povrchové teploty

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s průběžnou tepelnou izolací vykresleny interiérové povrchové teploty, které jsou porovnány s požadavkem na kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{R_{si,N}}$ dle ČSN 75 0540. Pro dané okrajové podmínky je $f_{R_{si,N}} = 0,753$, této hodnotě $f_{R_{si,N}}$ odpovídá minimální teplota vnitřního povrchu 12,60 °C.

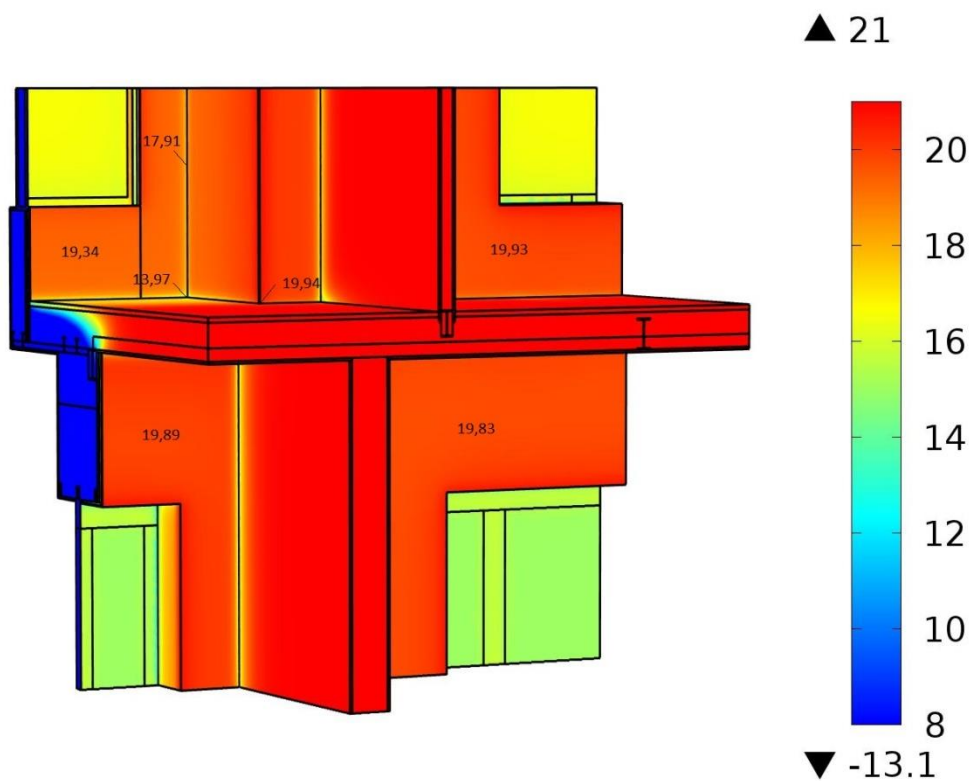
Po zateplení objektu s průběžnou tepelnou izolací dojde k významnému zvýšení povrchových teplot v interiéru. Teploty v ploše obvodových konstrukcích a rozích napojení stěn jsou stejné jako v případě zateplení s přerušenou tepelnou izolací. V místech napojení stropní konstrukce na obvodové zdivo arkýře povrchová teplota přesáhne minimální teplotu vnitřního povrchu a je tím splněn požadavek ČSN 75 0540 na kritický teplotní faktor vnitřního povrchu $f_{R_{si,N}}$. Průběžným zateplením je vyřešen i tento problémový detail. Nevyřešenými detaily zůstávají návaznosti okenních rámců na obvodové stěny. V těchto místech je teplota stále těsně pod požadovanou minimální teplotou vnitřního povrchu a může tak dojít ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce a následnému růstu plísní.



Obr. 78 – Vnitřní povrchové teploty 4. NP / 5. NP



Obr. 79 – Vnitřní povrchové teploty 3. NP / 4. NP

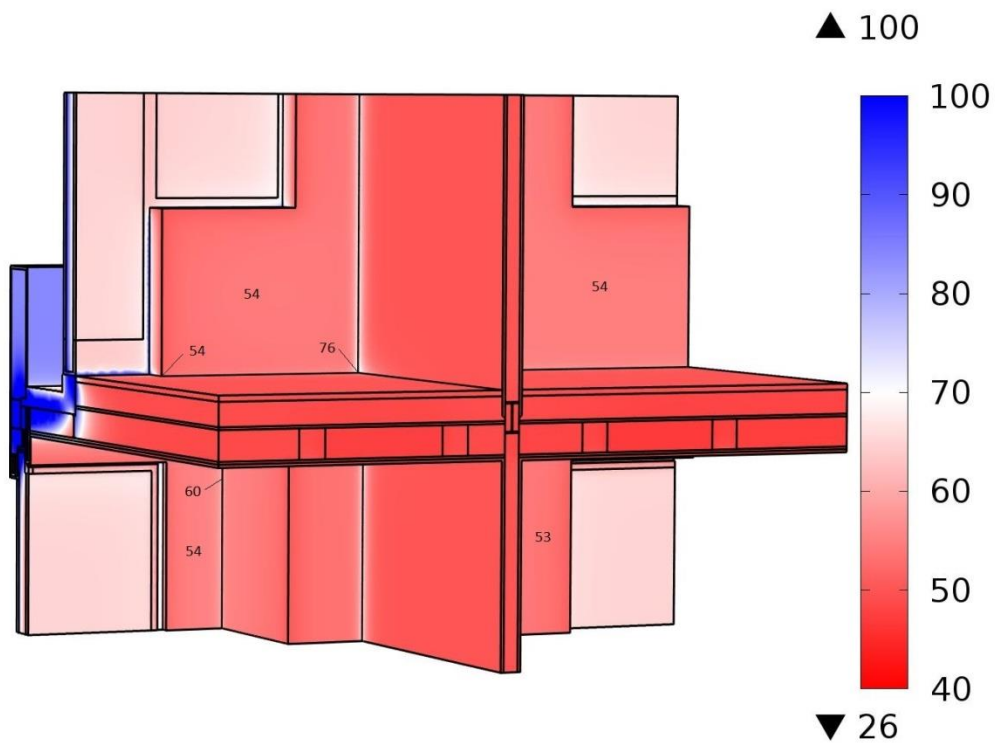


Obr. 80 – Vnitřní povrchové teploty 1. NP / 2. NP

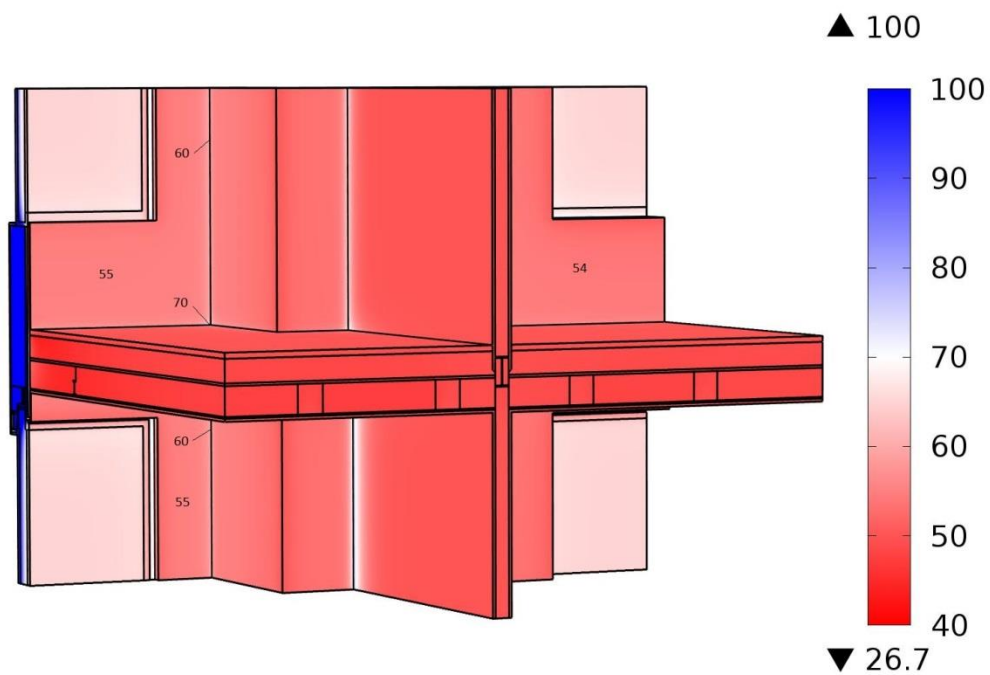
6.4.2. Relativní vlhkosti

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s průběžnou tepelnou izolací vykresleny relativní vlhkosti konstrukcí v interiéru. Relativní vlhkost úzce souvisí s teplotou. Pokud klesne povrchová teplota v interiéru pod požadovanou minimální teplotu, dojde na povrchu konstrukce ke kondenzaci vodní páry a následnému růstu plísní. Pro růst plísní se považuje hranice 80 % relativní vlhkosti jako kritická. Pokud se relativní vlhkost na povrchu konstrukce pohybuje do 80 % a teplota není pod teplotou rosného bodu, nemělo by dojít k rozvoji a růstu plísní.

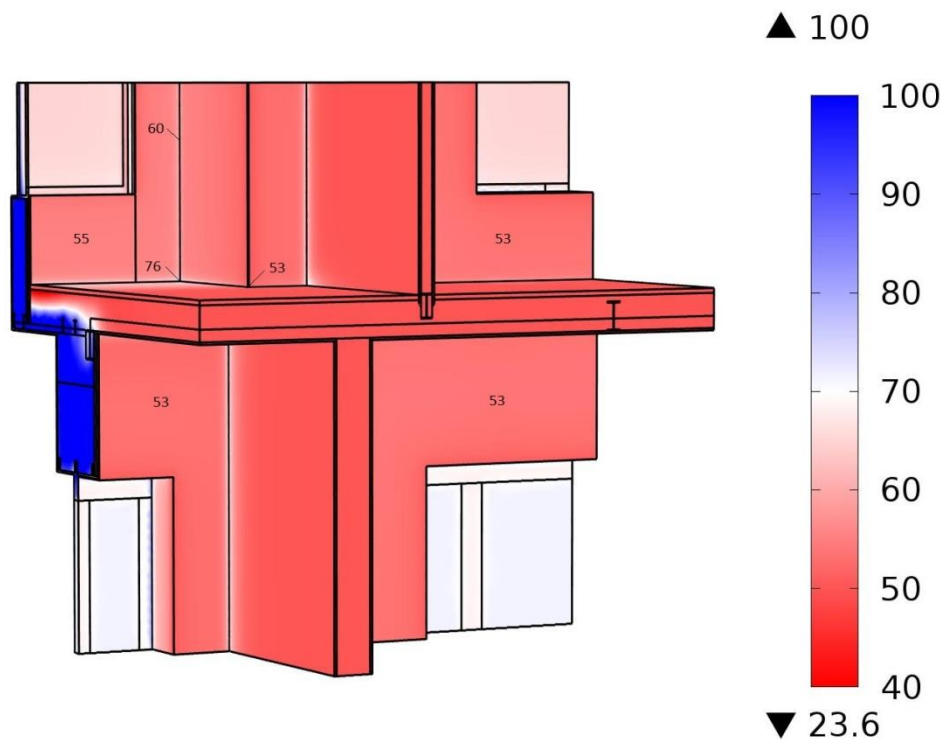
Po zateplení objektu s průběžnou tepelnou izolací dojde k významnému zvýšení povrchových teplot v interiéru a tím pádem dojde ke snížení relativní vlhkosti konstrukcí v interiéru. Jak je vidět ze všech modelovaných detailů v ploše obvodového zdiva dojde ke snížení relativní vlhkosti na přibližně 55 %, v rozích obvodových stěn je to pak 60 %. Tyto hodnoty jsou stejné jako v případě zateplení s přerušenou tepelnou izolací. V místě napojení obvodové konstrukce arkýře se stropní konstrukcí v detailu 3. NP/4. NP dojde ke snížení relativní vlhkosti až na hodnotu 70 %, v 1. NP/2. NP je to pak 76 % z důvodu použití rozdílné stropní konstrukce. Tímto řešením tedy dojde ke snížení relativní vlhkosti pod 80 % a nemělo by docházet ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce. Nevyřešenými detaily zůstávají návaznosti okenních rámců na obvodové stěny. V těchto místech je relativní vlhkost stále vyšší než 80 % a může tak dojít ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce a následnému růstu plísní.



Obr. 81 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru – 4. NP / 5.NP



Obr. 82 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru 3. NP / 4. NP



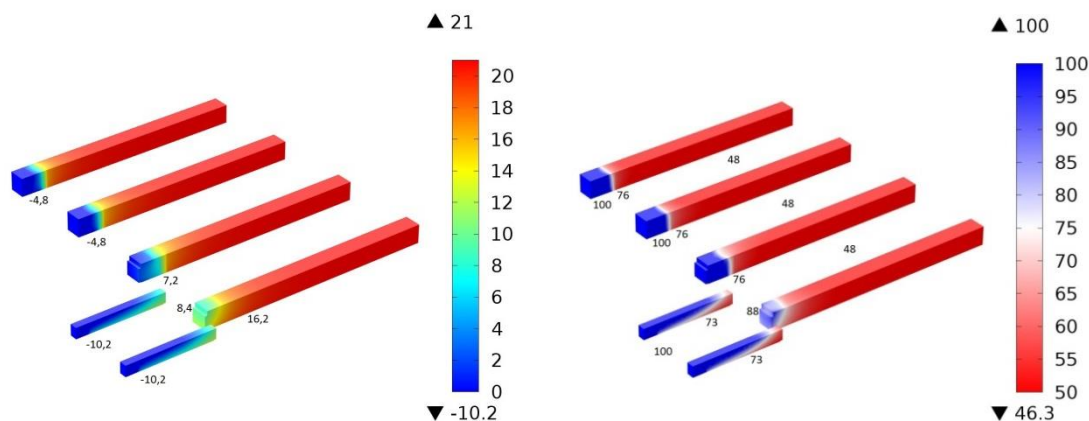
Obr. 83 – Relativní vlhkost povrchu konstrukcí v interiéru – 1. NP / 2. NP

6.4.3. Zhlaví trámů

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s průběžnou tepelnou izolací vykresleny povrchové teploty a relativní vlhkosti dřevěných trámů ve stropní konstrukci. Při průběžném vnitřním zateplení došlo k izolaci trámových zhlaví od ostatních konstrukcí, takže jsou v zimním období méně ohřívána od ostatních konstrukcí a jejich teplota se tak v zimním období výrazně snížila. Na obrázcích je i vidět, jak se po zateplení průběžnou tepelnou izolací zmenšil průběžný a plynulý přechod rozdílů teplot a relativních vlhkostí. Po zateplení také došlo k výraznému zvětšení oblasti kondenzace u trámových zhlaví.

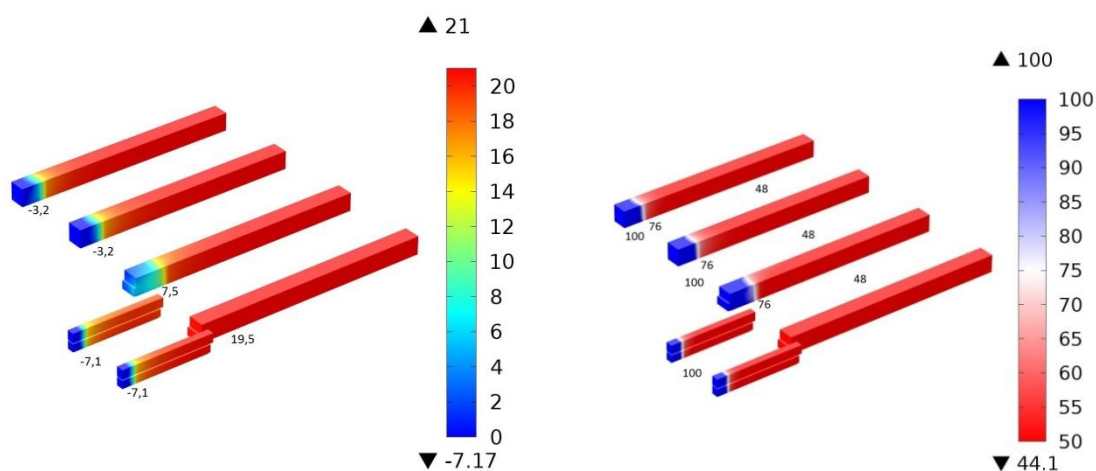
Nejvíce je ohrožena funkce dřevěných trámů ve stropní konstrukci arkýře pod balkónem. Minimální teplota těchto trámových zhlaví dosahuje až $-10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. S délkou trámu se teplota zvyšuje a to díky vlivu okolních konstrukcí, které přenášejí teplo. Minimální teplota trámového zhlaví v obvodové stěně je $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativní vlhkost trámových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva je 100 %. Minimální teplota trámového zhlaví, které není ve styku s obvodovou konstrukcí, je $8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeho rela-

ativní vlhkost je 88 %. Ve všech trémových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, dochází ke kondenzaci a je ohrožena jejich funkce.



Obr. 84 – Teplota a relativní vlhkost trémů – 4. NP / 5. NP

U trémových zhlaví v běžném podlaží, v tomto případě 3. NP/4. NP jsou teploty trémových zhlaví vyšší než v podlaží posledním, kde je arkýř ukončen balkónem. Minimální teplota zhlaví trému ve stropní konstrukci arkýře je -7,1 °C. Minimální teplota trémového zhlaví v obvodové stěně je -3,2 °C. Relativní vlhkost trémových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva je 100 %. Minimální teplota trémového zhlaví, které není ve styku s obvodovou konstrukcí, je 19,5 °C. Jeho relativní vlhkost je 48 %. Ve všech trémových zhlaví, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, dochází ke kondenzaci a je ohrožena jejich funkce.

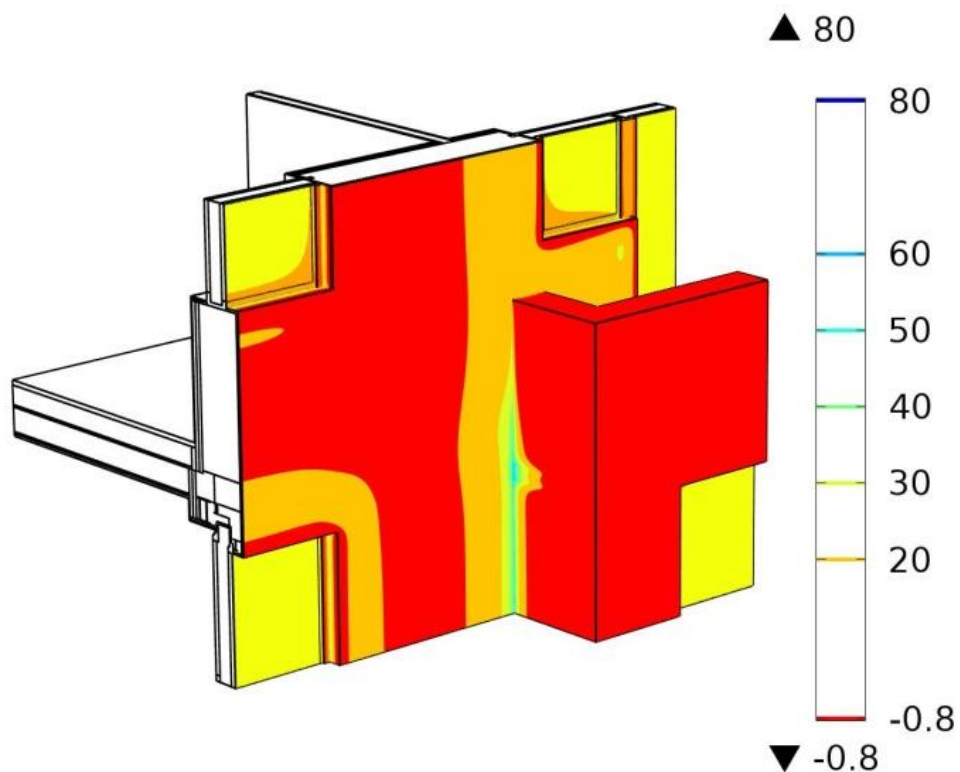


Obr. 85 – Teplota a relativní vlhkost trémů – 3. NP / 4. NP

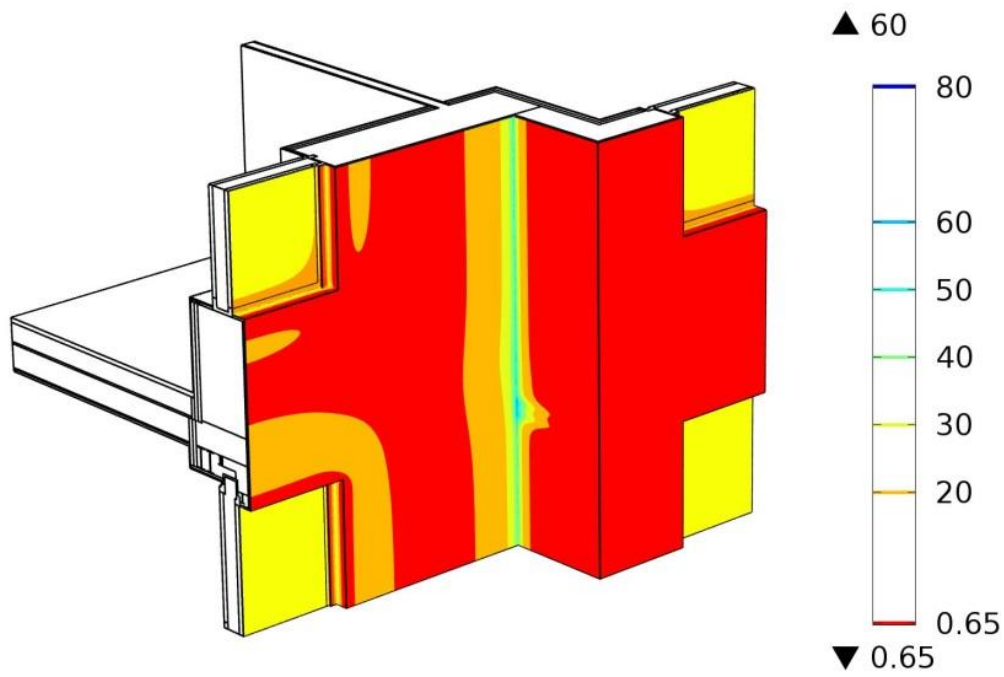
6.4.4. Tepelné toky

Na následujících obrázcích jsou na jednotlivých detailech zatepleného modelu s průběžnou tepelnou izolací vykresleny tepelné toky na vnějším povrchu ve W/m^2 .

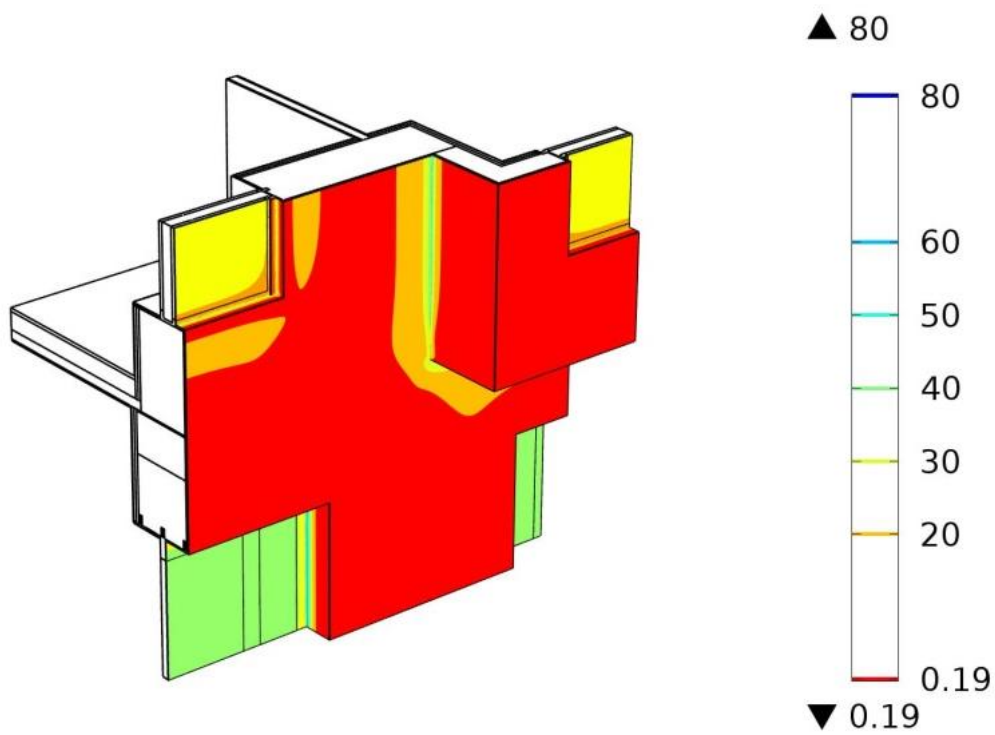
Jak je vidět z obrázků, po zateplení a výměně okenních a dveřních výplní došlo k výraznému snížení tepelných toků na vnějším povrchu. U tepelných mostů stropní konstrukce arkýře došlo k nepatrnému snížení tepelných toků než při zateplení s přerušovou tepelnou izolací. I přesto můžeme na fasádě vidět vykresleny náznaky ocelové I profilu.



Obr. 86 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 4. NP / 5.NP



Obr. 87 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 3. NP / 4.NP



Obr. 88 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 1. NP / 2.NP

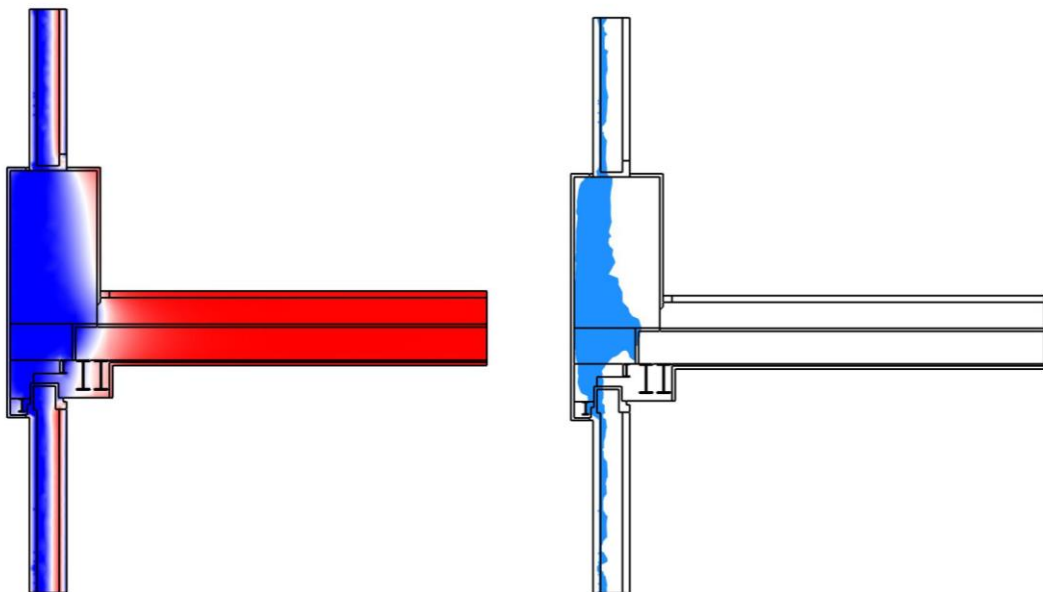
6.5. Relativní vlhkost v konstrukci

Protože program COMSOL Multiphysics má vlhkost omezenou na hodnotu 100 %. Oblast kondenzace je tedy daleko větší než ve skutečnosti a při podrobnějších výpočtech. Tyto výsledky je tedy nutné brát s patřičnou rezervou. Pro porovnání je zde zařazena i podkapitola, která zahrnuje porovnání výpočtu vlhkosti v konstrukci provedeném v programu COMSOL Multiphysics s výpočtem provedeném v programu Area 2014.

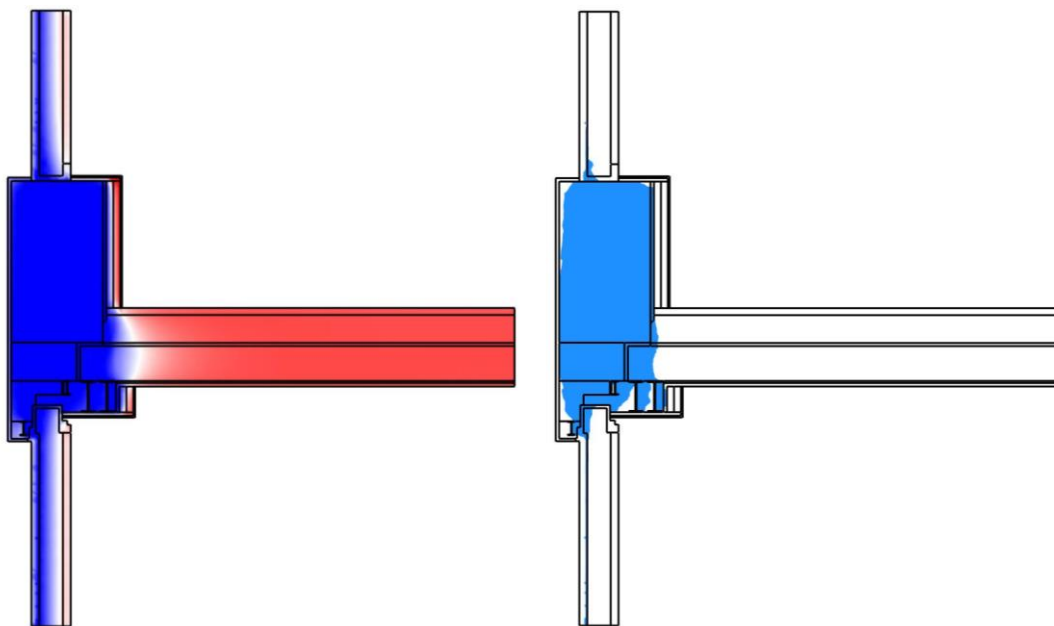
Pro porovnání byl vybrán model běžného podlaží, v tomto případě tedy 3. NP/4. NP.

6.5.1. Výpočty v programu COMSOL Multiphysics

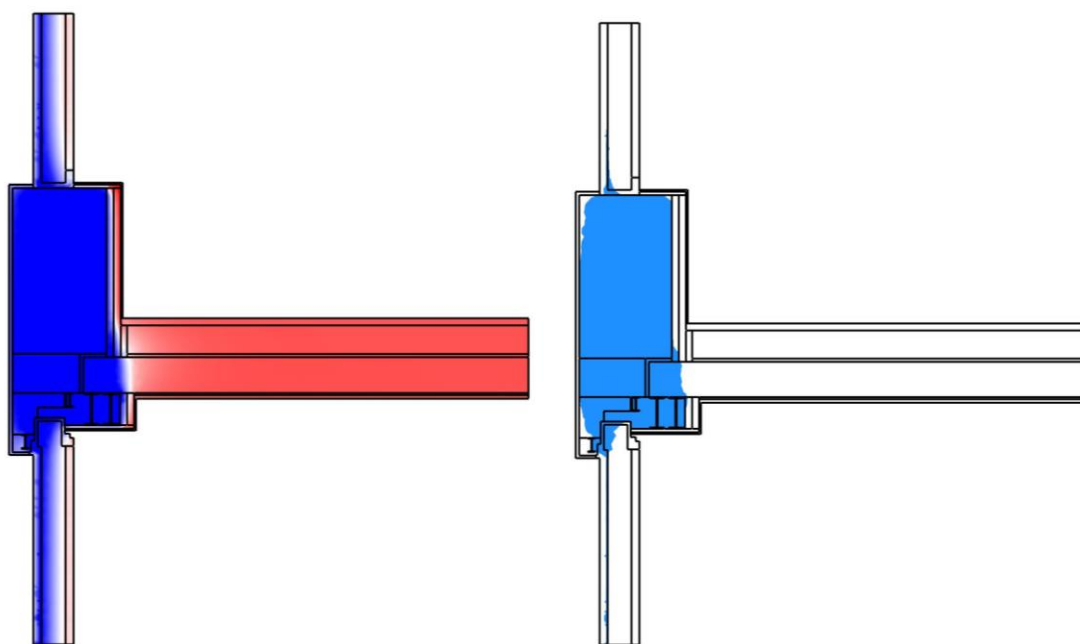
Na obr. 89, obr. 90 a obr. 91 jsou uvedeny výpočty z programu COMSOL Multiphysics. Jak je vidět už v původním stavu je oblast kondenzace rozsáhlá a je zasažena přibližně polovina obvodového zdiva, která je v kontaktu s exteriérem. Při provedení vnitřního zateplení se oblast kondenzace rozšíří do celé šířky obvodového zdiva a je zasaženo i zhlaví dřevěných trámů.



Obr. 89 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model před zateplením



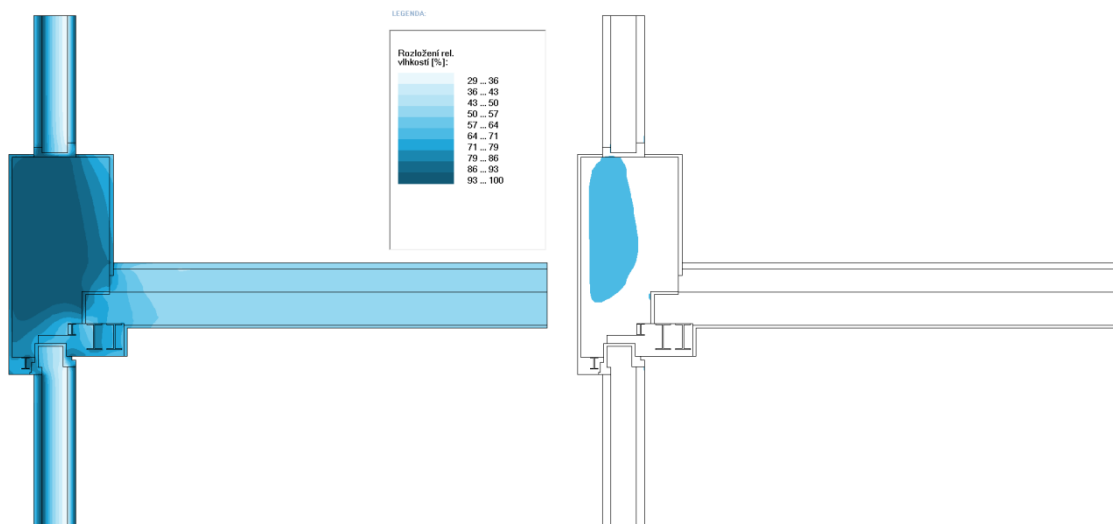
Obr. 90 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s přerušenu tepelnou izolací



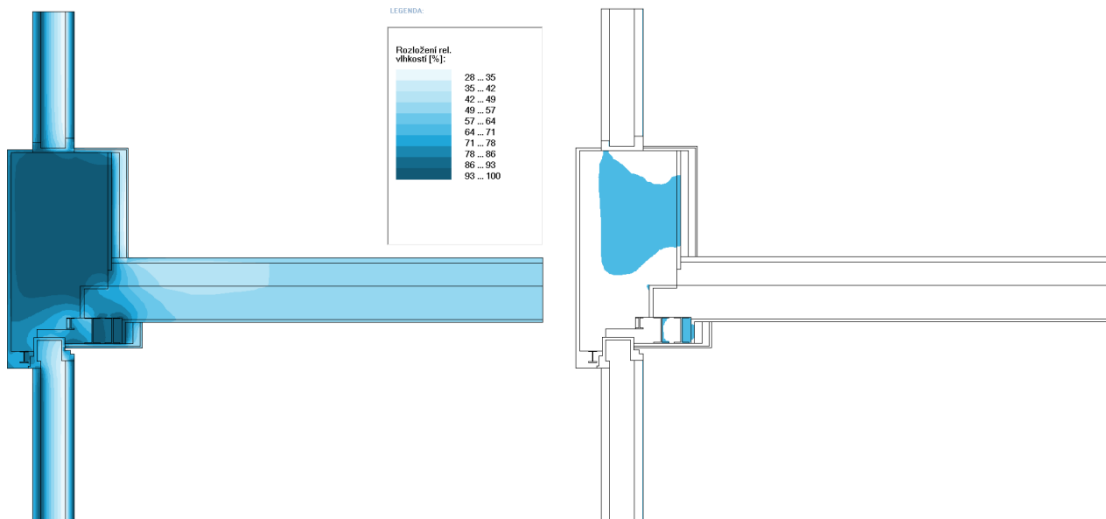
Obr. 91 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s průběžnou tepelnou izolací

6.5.2. Výpočty v programu Area 2014

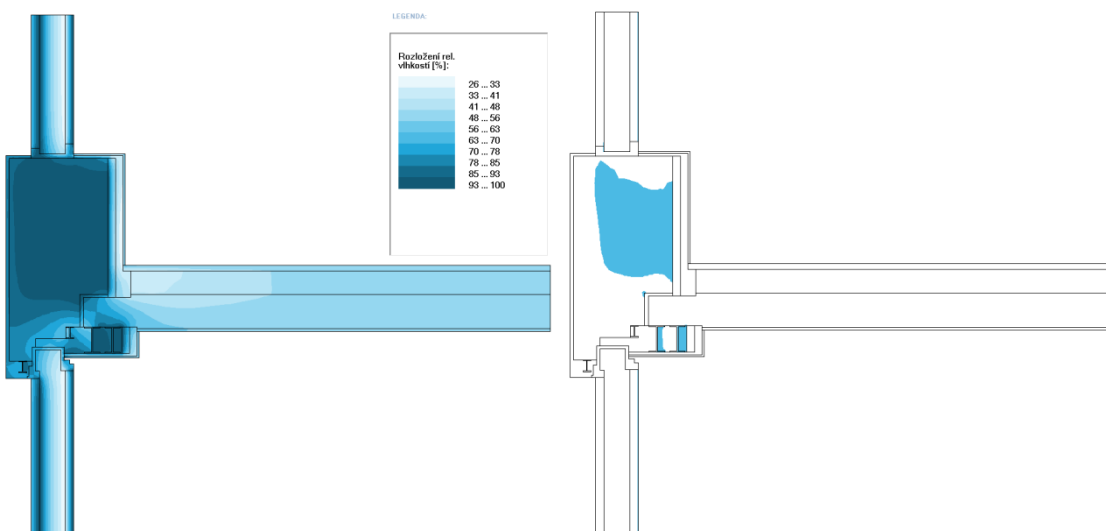
Na obr. 92, obr. 93 a obr. 94 jsou uvedeny výpočty v programu Area 2014. Jak je vidět už v původním stavu dochází ke kondenzaci, ale v daleko menší míře, než při použití programu COMSOL Multiphysics. V původním stavu před zateplením je oblast kondenzace především na vnější straně obvodového zdiva. Při provedení vnitřního zateplení se oblast kondenzace rozšíří a přesune se směrem k interiéru. Do místa původní vnitřní omítky a vnitřního zateplení. Jak je vidět v místě uložení zhlaví do obvodového zdiva nedochází ke kondenzaci ani při vnitřním zateplení průběžnou izolací. Relativní vlhkost tam dosahuje hodnot přes 90 %.



Obr. 92 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model před zateplením



Obr. 93 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s přerušovou tepelnou izolací



Obr. 94 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s průběžnou tepelnou izolací

6.6. Vyhodnocení 3D výpočtů

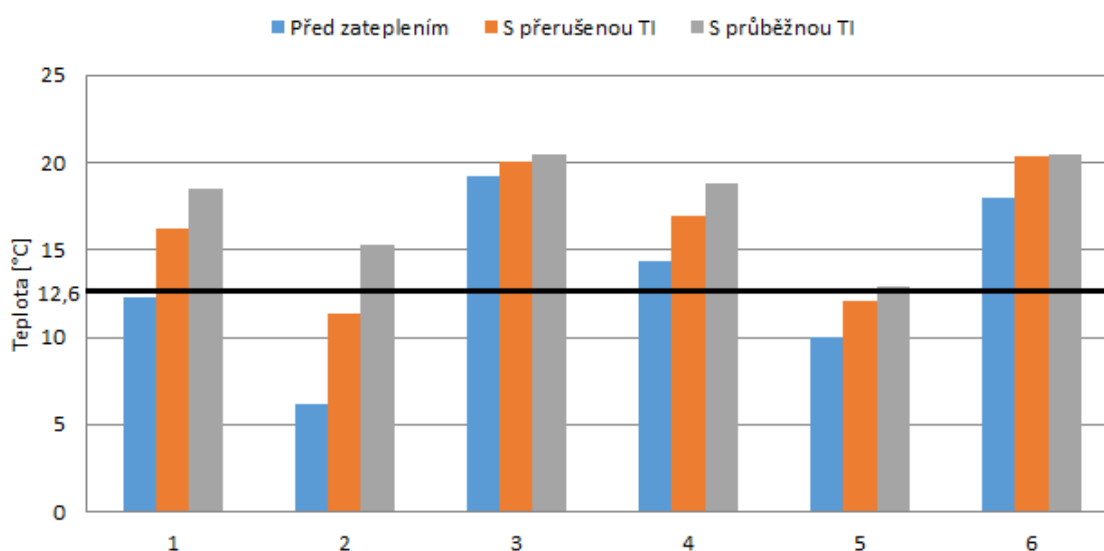
Pro vyhodnocení výsledků povrchových teplot a relativních vlhkostí ve 3D modelech, byly vybrány jednotlivé rizikové body, na kterých je vidět jak se teplota a relativní vlhkost s použitím vnitřního zateplení mění. Vybrané body jsou znázorněny na obr. 33, obr. 35 a obr. 37 v kapitole 4.2.

6.6.1. Povrchové teploty

Teploty v jednotlivých bodech ve všech 3D modelech byly shrnuty do tab. 18, pro lepší názornost byly ještě výsledky z modelu 3. NP/4. NP vykresleny do grafu 3.

Tab. 18 – Teplota ve vybraných bodech

Teplota ve vybraných bodech			1	2	3	4	5	6
1.NP/2.NP	Před zateplením	[°C]	9,06	3,90	16,47	15,16	10,91	19,25
	S přerušenu TI	[°C]	13,81	9,33	19,46	17,10	11,27	20,47
	S průběžnou TI	[°C]	16,46	13,97	19,94	18,81	12,75	20,49
3.NP/4.NP	Před zateplením	[°C]	12,24	6,18	19,25	14,36	10,01	17,94
	S přerušenu TI	[°C]	16,22	11,31	20,10	16,97	12,08	20,38
	S průběžnou TI	[°C]	18,50	15,32	20,51	18,81	12,86	20,52
4.NP/5.NP	Před zateplením	[°C]	17,11	13,06	12,97	–	12,76	17,36
	S přerušenu TI	[°C]	19,37	13,35	16,40	–	13,77	20,31
	S průběžnou TI	[°C]	19,61	13,57	18,53	–	14,64	20,44



Graf 3 – Teplota ve vybraných bodech 3. NP/4. NP

Jak je vidět z tab. 18 a grafu 3, dojde k výraznému zvýšení teplot ve vybraných bodech. Některé detaily ale zůstávají problémové i po provedení vnitřního zateplení.

U 3D modelu 1. NP/2. NP a 3. NP/4. NP je z pohledu teplot nejrizikovější místo, kde je bod 2 a bod 5. Jedná se o napojení rohu arkýřového zdiva s podlahou a o místo napojení dřevěného rámu okenní výplně a obvodového zdiva. V těchto bodech při použití přerušené tepelné izolace nedojde k překročení minimální požadované teploty 12,60 °C. Tento problém je vyřešen ve variantě průběžného zateplení. V této variantě již dochází i ke zvýšení těchto teplot nad požadovanou minimální teplotu 12,60 °C a nehrozí tedy v těchto místech kondenzace na povrchu konstrukce.

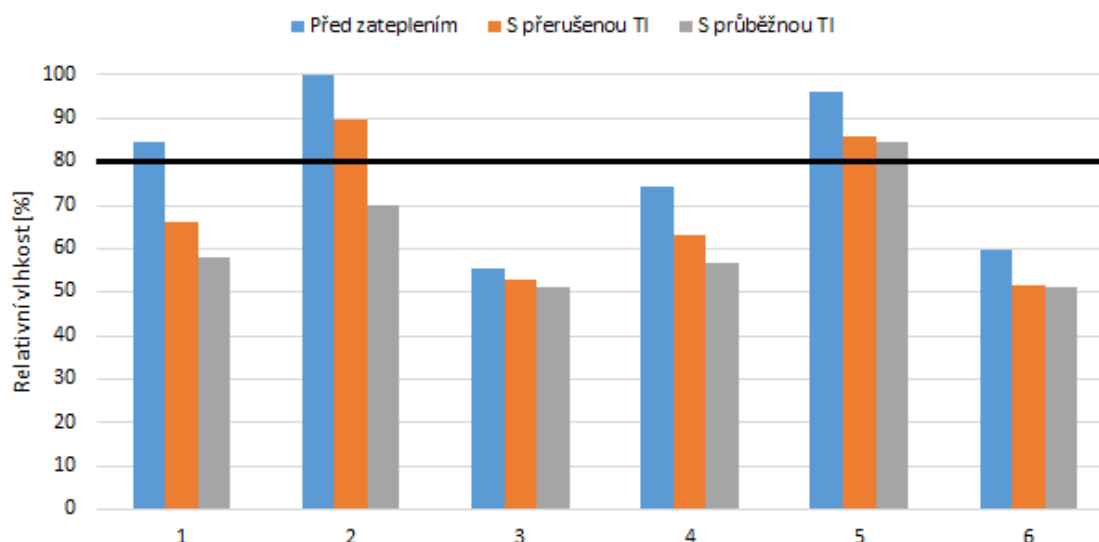
U 3D modelu 4. NP/ 5. NP je z pohledu teplot nejrizikovější místo také bod 5, kdy v původním stavu má teplotu 12,7 °C. Teplota je sice nad minimální požadovanou teplotou 12,60 °C, ale pouze minimálně. Již při zateplení přerušenou tepelnou izolací je znatelné zvýšení teploty.

6.6.2. Relativní vlhkosti

Teploty v jednotlivých bodech ve všech 3D modelech byly shrnuty do tab. 19, pro lepší názornost byly ještě výsledky z modelu 3. NP/4. NP vykresleny do grafu 4.

Tab. 19 – Relativní vlhkost ve vybraných bodech

Relativní vlhkost ve vybraných bodech			1	2	3	4	5	6
1.NP/2.NP	Před zateplením	[%]	100	100	65,3	70,6	91,5	55,4
	S přerušenou TI	[%]	76,8	100	54,5	62,9	89,8	51,5
	S průběžnou TI	[%]	65,2	75,8	53,2	56,8	84,3	51,5
3.NP/4.NP	Před zateplením	[%]	84,4	100	55,4	74,1	96,1	59,8
	S přerušenou TI	[%]	66,3	89,5	52,7	63,3	85,7	51,8
	S průběžnou TI	[%]	57,9	69,9	51,4	56,8	84,7	51,4
4.NP/5.NP	Před zateplením	[%]	62,9	79,4	80,8	–	81,7	61,9
	S přerušenou TI	[%]	54,9	77,7	65,6	–	77,2	52,1
	S průběžnou TI	[%]	54,2	76,5	57,7	–	73,1	51,6



Graf 4 – Relativní vlhkost ve vybraných bodech 3. NP/4. NP

Pro růst plísní se obecně považuje hranice 80 % relativní vlhkosti jako kritická. Pokud se relativní vlhkost na povrchu konstrukce pohybuje do 80 % a teplota není pod teplotou rosného bodu, nemělo by dojít k rozvoji a růstu plísní. Jak je vidět z tab. 19 a grafu 4, dojde k výraznému snížení relativních vlhkostí ve vybraných bodech. Některé detaily, ale zůstávají problémové i po provedení vnitřního zateplení. Protože vlhkost úzce souvisí s teplotou, jedná se o ty samé body jako při vyhodnocení povrchové teploty.

U 3D modelu 1. NP/2. NP a 3. NP/4. NP je z pohledu relativních vlhkostí nejrizikovější místo také bod 2 a bod 5. V těchto bodech při použití přerušené i průběžné tepelné izolace zůstává vlhkost nad hranicí 80 %. V místě napojení obvodových stěn na rám výplní otvorů je tedy možný vznik plísní i po zateplení.

U 3D modelu 4. NP/ 5. NP je z pohledu teplot nejrizikovější místo také bod 5, ale již při zateplení přerušenu tepelnou izolací je znatelné snížení relativní vlhkosti.

6.6.3. Zhlaví trámů

Zhlaví dřevěných trámů, která jsou uložena v kapsách obvodového zdiva, jsou velmi citlivá místa. V místě uložení trámu je obvodové zdivo oslabeno, kvůli kapse pro uložení zhlaví trámů. V tomto místě vzniká tepelný most a je náchylné ke změnám teploty a vlhkosti.

Při vnitřním zateplení objektu dojde k izolaci trámových zhlaví, která budou v zimním období méně ohřívána od ostatních konstrukcí a jejich teplota se tak v zimním období výrazně sníží pod bod mrazu. V původním stavu je oblast kondenzace trámových zhlaví minimální, při vnitřním zateplení se radikálně zvětší oblasti kondenzace u trámových zhlaví. Nejvíce ohrožené jsou trámy ve stropní konstrukci arkýře v posledním podlaží, kde je arkýř ukončen balkónem. V této oblasti jsou trámy ochlazovány i z horní strany a už v původním stavu dochází ve velké oblasti ke kondenzaci. Po zateplení dojde ještě ke zvětšení oblasti kondenzace.

Při výpočtech uvažujeme exteriérovou teplotu $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ v Praze. Tento parametr ovšem neodpovídá reálné situaci v Praze, kde tuto teplotu lze naměřit pouze zřídka. Reálnější by bylo ověřit, zda ke kondenzaci vodní páry v trámových zhlaví dochází i při teplotě těsně pod bodem mrazu. Situace, kdy v dané lokalitě budou teploty těsně pod bodem mrazu, je daleko pravděpodobnější, než předpoklad že teplota klesne na $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

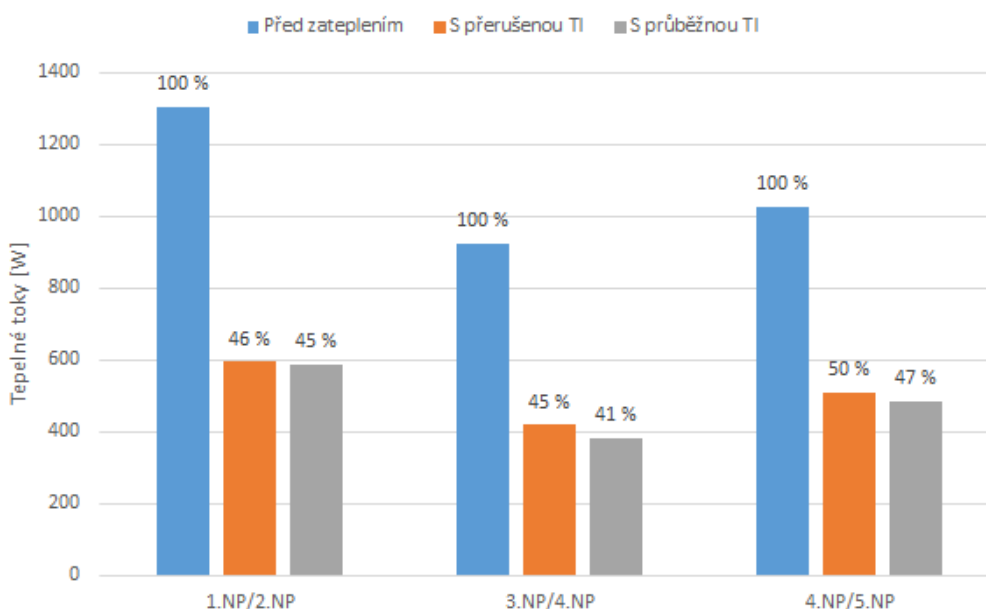
Při vyhodnocení relativní vlhkosti v konstrukci je nutné brát v potaz i to, že COMSOL Multiphysics má vlhkost omezenou na hodnotu 100 %. Oblast kondenzace je tedy daleko větší než ve skutečnosti nebo při podrobnějších výpočtech. Tyto výsledky je nutné brát s patřičnou rezervou. Pro porovnání je zde i výpočet provedený v programu Area 2014, ve kterém je vidět, že kondenzační zóna je mnohem menší.

6.6.4. Tepelné toky

Jak je vidět z tab. 20 a grafu 5 při zateplení a výměně výplní otvorů se dosáhne značných energetických úspor. Vnitřním zateplením lze dosáhnout snížení tepelného toku až na poloviční hodnoty původních hodnot před zateplením.

Tab. 20 – Tepelné toky na vnějším povrchu

Tepelné toky na vnějším povrchu			Výplně otvorů	Obvodové stěny	Celkem	Celkem na m ²
			[W]	[W]	[W]	[W/m ²]
1.NP/2.NP	Před zateplením	[W]	619	686	1305	50,5
	S přerušenou TI	[W]	216	379	595	23,0
	S průběžnou TU	[W]	216	371	587	22,7
3.NP/4.NP	Před zateplením	[W]	308	617	925	48,5
	S přerušenou TI	[W]	118	302	420	22,0
	S průběžnou TU	[W]	118	264	382	20,0
4.NP/5.NP	Před zateplením	[W]	359	667	1026	51,2
	S přerušenou TI	[W]	141	368	509	25,4
	S průběžnou TU	[W]	141	343	484	24,1



Graf 5 – Tepelné toky na vnějším povrchu

7. Závěr

Vnitřní zateplení je záležitost, která sebou nese mnoho problémů a rizik, jak již bylo zmíněno v úvodní kapitole. Zatím dochází k rozvoji a použití vnitřního zateplení především v zahraničí. Na našem území se používá pouze minimálně, přestože je u nás mnoho historických budov, u kterých není možné použít vnější zateplení fasády, a proto je vhodné využití vnitřního zateplení.

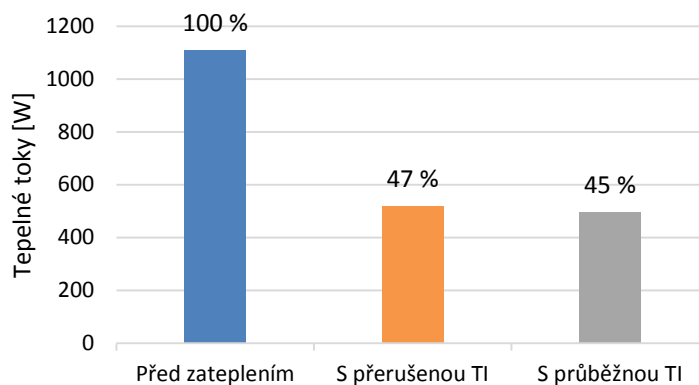
Na činžovním bytovém domě bylo aplikováno vnitřní zateplení systému UdiIN RECO tl. 80 mm. Systém je tvořen jako sendvičový systém na bázi dřevěného materiálu. Návrh byl proveden ve dvou variantách. První varianta se zabývá návrhem vnitřní izolace, která nezasahuje do stropní konstrukce a druhá varianta je navržena jako průběžná skrz stropní konstrukci. Při návrhu byly provedeny výpočty v programu COMSOL Multiphysics, Area 2014, WUFI 5 a Teplo 2014. Při vyhodnocení 1D výpočtů v ustáleném stavu vyšlo najevo, že z hlediska kondenzace vodní páry dle ČSN 73 0540 by aplikace vnitřního zateplení nespĺňovala požadavky dané normou. Norma také dovoluje vyhodnocení pokročilejšími výpočetními metodami, než jsou metody ČSN EN ISO 13788 a ČSN 73 0540, pomocí kterých bylo dokázáno, že se vlhkost v jednotlivých vrstvách konstrukce trvale nezvyšuje. Zároveň se prokázalo, že hmotnostní vlhkost materiálu na bázi dřeva nepřekročila požadovaných 18 %.

Pro šíření tepla a vlhkosti ve 3D modelu bylo využito programu COMSOL Multiphysics. Z výsledků je patrné, že po zateplení dojde ke zvýšení povrchových teplot a zároveň snížení relativní vlhkosti v interiéru. Nadále zůstávají i některá riziková místa, kde je nutné dbát na správnou aplikaci vnitřního zateplení a správné řešení těchto detailů.

Samostatnou kapitolou při návrhu vnitřního zateplení jsou trémová zhlaví. V místech uložení trémových zhlaví na obvodovou zeď vznikají tepelné mosty a zároveň jsou tato místa velmi náchylná ke změnám teploty a vlhkosti. Při výpočtech bylo prokázáno, že vnitřní zateplení má velmi negativní vliv na stav trémových zhlaví. Po zateplení dochází ke snížení teploty a zároveň zvýšení oblasti kondenzace vodní páry v oblasti trémových zhlaví. Již v případě přerušeno zateplení, které nezasahuje do stropní konstrukce, dochází k výraznému snížení teploty v oblasti trémového zhlaví pod bod mrazu. V případě průběžného zateplení dochází ke snížení teploty vždy alespoň o 1,5 °C, než je tomu u přerušeno zateplení. Při zateplení dochází ke zvýšení relativní

vlhkosti a zvětšení oblasti kondenzace. COMSOL Multiphysics počítá se 100% relativní vlhkostí, proto je po zateplení oblast kondenzace rozšířena po celém trámovém zhlaví. Tento výsledek je nutné brát s patřičnou rezervou, proto byla vypracována i kapitola, kde jsou vybrané detaily posouzeny v programu Area 2014. Při porovnání výsledků je vidět, že oblast kondenzace je o hodně menší a zřejmě by i více odpovídala reálnému stavu.

Vnitřní zateplení se provádí především kvůli energetickým úsporám na vytápění objektu. Jak je vidět z grafu 6, po aplikaci vnitřního zateplení dojde ke snížení tepelných toků na více než polovinu původních hodnot, i když posuzované skladby obvodových stěn nesplní dle ČSN 73 0540 požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla $U_N=0,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. U varianty s přerušovou tepelnou izolací se tepelné toky sníží o 53 %. U varianty s průběžnou tepelnou izolací je to o 55 %.



Graf 6 – Tepelné toky na vnějším povrchu před a po zateplení

Cíl práce byl splněn v plném rozsahu. Bylo prokázáno, že po zateplení dojde k úspoře energie, dojde k navýšení povrchových teplot a snížení kondenzace vodní páry na povrchu. Dále se potvrdily problémy v oblasti zhlaví trámů v obou variantách zvoleného systému zateplení.

Oblast vnitřního zateplení u nás zůstává i nadále málo prozkoumaným problémem. Pro jeho vyřešení a rozvoj je nutné provést ještě mnoho výpočtů a měření. Především je třeba zaměřit se na problémy v oblasti trámového zhlaví, protože tam vzniká nejvíce problémů.

Seznam použité literatury a zdrojů

1. **Xella CZ.** Bytové domy, historické objekty, kostely... Zateplení zevnitř je funkční a bezpečné. *Tzb-info*. [Online] 3. Říjen 2012. [Citace: 2. Květen 2016.] <http://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/9114-bytove-domy-historicke-objekty-kostely-zatepleni-zevnitř-je-funkcni-a-bezpecne>. ISSN 1801-4399.
2. **Čech, Josef.** Realizace nákladově a energeticky úsporných domů se systémem vnitřního zateplení. *Stavba.tzb-info*. [Online] 17. Červen 2013. [Citace: 4. Květen 2016.] <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/10049-realizace-nakladove-a-energeticky-uspornych-domu-se-systemem-vnitřniho-zatepleni>. ISSN 1801-4399.
3. **Šála, Jiří.** O vnitřním zateplení. *Tzb-info*. [Online] 4. Květen 2001. [Citace: 10. Květen 2016.] <http://www.tzb-info.cz/540-o-vnitřnim-zatepleni>. ISSN 1801-4399.
4. **Sedláček, Jiří.** Přednosti vnitřního a venkovního zateplení. *Tzb-info*. [Online] 27. Únor 2004. [Citace: 10. Květen 2016.] <http://www.tzb-info.cz/1840-prednosti-vnitřniho-a-venkovniho-zatepleni>. ISSN 1801-4399.
5. **Šťastný, Pavel.** Problematika kapilárně aktivního systému vnitřního zateplení starších budov. *Stavba.tzb-info*. [Online] 20. Prosinec 2011. [Citace: 13. Květen 2016.] <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/8133-problematika-kapilarne-aktivniho-systemu-vnitřniho-zatepleni-starsich-budov>. ISSN 1801-4399.
6. Rigitherm - Systém vnitřního zateplení stěn. *Rigips*. [Online] [Citace: 20. Květen 2016.] <https://www.rigips.cz/files/rigitherm-vnitřni-zatepleni-sten/p7.pdf>.
7. Rigitherm Doublissimo 032: neue Innendämmung von Rigips. *Baulinks*. [Online] 6. Červenec 2010. [Citace: 20. Květen 2016.] <http://www.baulinks.de/webplugin/2010/1142.php4>.
8. Multipor - řešení pro vnitřní zateplení budov. *Ytong*. [Online] [Citace: 21. Květen 2016.] <http://www.ytong.cz/cs/docs/Ytong-multipor-pro-vnitřni-zatepleni.pdf>.
9. Termomodernizacja za pomocą Multipor. *Ytong-silka*. [Online] [Citace: 21. Květen 2016.] http://www.ytong-silka.pl/pl/ocieplanie_za_pomoc__ytong_multipor_1391.php.
10. Kooltherm K118 Interiérová deska. *Kingspan*. [Online] [Citace: 22. Květen 2016.] <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolace/izolacni-desky/kooltherm-k118-interierova-deska>.

11. Zateplení pomocí desky pro vnitřní zateplení Kooltherm K17. *Strecharska-mapa*. [Online] [Citace: 22. Květen 2016.] <http://www.strecharska-mapa.cz/strecharska-mapa/zatepleni-pomoci-desky-pro-vnitri-zatepleni-kooltherm-k17/>.
12. DESKY PURA. *Meffert ČR*. [Online] [Citace: 25. Květen 2016.] <http://www.meffert.cz/desky-pura>.
13. **Ing. Pavel Říha**. CIUR a.s. *Systém UdiIN RECO*. [Online] CIUR a.s., 2016. [Citace: 13. Říjen 2016.] <http://www.drevovlakna.cz/produkty/obsah/system-udiin-reco>.
14. Innendämmsystem Aerorock. *Rockwool*. [Online] [Citace: 25. Květen 2016.] http://download.rockwool.at/media/205078/br_aerorockid.pdf.
15. Nahlížení do katastru nemovitostí. *Český úřad zeměměřický a katastrální*. [Online] [Citace: 4. Srpen 2016.] <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>.
16. ČSN P 73 0610. *Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení*. Praha : Český normalizační institut, 2000.
17. **Ondřej, Severin**. *Stavba domu v praxi / díl I*. Praha : Grada, 2002. 80-247-0262-2.
18. ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Český normalizační institut, 2011.
19. **Koukal, Milan**. Vnitřní zateplení historických budov. *Stavba.tzb-info*. [Online] 16. Říjen 2014. [Citace: 8. Září 2016.] <http://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/11841-vnitri-zatepleni-historickych-budov>. ISSN 1801-4399.
20. **Svoboda, Zbyněk**. Ke stažení II (podklady pro cvičení, manuály)... *Kps.fsv.cvut*. [Online] [Citace: 15. Září 2016.] <https://kps.fsv.cvut.cz/?Tok=f948d2e8d5e62d929f759b8278625c5f&Sign=2f4dd94a99df082c3c1771717747637b>.
21. **Ondřej, Severin**. *Stavba domu v praxi / díl II*. Praha : Grada, 2002. 80-247-0263-0.
22. ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
23. ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
24. ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, 2005.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Průběh teplot v konstrukci s kondenzační zónou [3]	11
Obr. 2 – Klínová deska pro izolaci tepelného mostu [5].....	12
Obr. 3 – Aplikace systému Rigips – Rigitherm [7].....	14
Obr. 4 – Složení desek systému Ytong – Multipor [8].....	15
Obr. 5 – Aplikace systému Ytong – Multipor [9]	16
Obr. 6 – Aplikace systému Kingspan – Kooltherm [10].....	17
Obr. 7 – Aplikace systému Redstone – Pura [12]	18
Obr. 8 – Aplikace systému UdiIN RECO [13].....	19
Obr. 9 – Aplikace systému Aerorock [14]	20
Obr. 10 – Katastrální mapa [15].....	21
Obr. 11 – Pohled na objekt.....	22
Obr. 12 – Krov	23
Obr. 13 – Krov	24
Obr. 14 – Místa odběrů vzorků zdiva a omítky v 1. PP	25
Obr. 15 – Místo odběru vzorku č. 1. a č. 2.....	25
Obr. 16 – Vlákniť porost na zdi v suterénu	26
Obr. 17 – Vlákniť porost na zdi v suterénu	26
Obr. 18 – Vzorek č.1. v Petriho misce	27
Obr. 19 – Pohled na vzorek č. 1 v mikroskopu	27
Obr. 20 – Vzorek č. 1, 2 a 3 po kultivaci v Petriho misce	28
Obr. 21 – Vlhkoměr Hygrotest 6500.....	29
Obr. 22 - Termovizní snímek - pohled na objekt	30
Obr. 23 – Termovizní snímek – pohled na 1. NP.....	31
Obr. 24 – Termovizní měření – detail arkýř.....	31
Obr. 25 – Termovizní měření – detail balkónu	31
Obr. 26 – Termovizní snímek – roh stropu v interiéru.....	32
Obr. 27 – Dřevěná stropní konstrukce nad 4. NP.....	34
Obr. 28 – Betonová stropní konstrukce nad 1. NP s vyložením arkýře	34

Obr. 29 – Konstrukce arkýře nad 3. NP.....	35
Obr. 30 – Dřevěná stropní konstrukce s vyložením arkýře nad 3. NP	35
Obr. 31 – Ukončení arkýře v 5. NP balkónem.....	36
Obr. 32 – 4. NP / 5. NP	37
Obr. 33 – 4. NP / 5. NP – pohled z interiéru.....	37
Obr. 34 – 3. NP / 4. NP	38
Obr. 35 – 3. NP / 4. NP – pohled z interiéru.....	38
Obr. 36 – 1. NP / 2. NP.....	39
Obr. 37 – 1. NP / 2. NP – pohled z interiéru.....	39
Obr. 38 – Detail řezu 5. NP – přerušená tepelná izolace	41
Obr. 39 – Detail řezu 5. NP – průběžná tepelná izolace	42
Obr. 40 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm	51
Obr. 41 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm	51
Obr. 42 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 750 mm	52
Obr. 43 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 750 mm	52
Obr. 44 – Rozložení teplot v typickém místě skladby děrovaných cihel tl. 300 mm	53
Obr. 45 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby děrovaných cihel tl. 300 mm.....	53
Obr. 46 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm.....	54
Obr. 47 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm	54
Obr. 48 – Akumulované množství zkondenzované vlhkosti ve skladbě CPP tl. 450 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm	55
Obr. 49 – Rozložení teplot v typickém místě skladby CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm.....	56
Obr. 50 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm	56
Obr. 51 – Akumulované množství zkondenzované vlhkosti ve skladbě CPP tl. 750 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm	57

Obr. 52 – Rozložení teplot v typickém místě skladby děrovaných cihel tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm.....	58
Obr. 53 – Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě skladby děrovaných cihel tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm	58
Obr. 54 – Akumulované množství zkondenzované vlhkosti ve skladbě děrovaných cihel tl. 300 mm + UdiIN RECO tl. 80 mm	59
Obr. 55 – Difuze vodní páry a kapilární tok – Glasserova metoda a podle dr. Kurta Kiessela [19].....	60
Obr. 56 – Vnitřní povrchové teploty 4.NP / 5. NP.....	71
Obr. 57 – Vnitřní povrchové teploty 3.NP / 4. NP.....	72
Obr. 58 – Vnitřní povrchové teploty 1. NP / 2. NP.....	72
Obr. 59 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru – 4. NP / 5.NP.....	73
Obr. 60 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru 3. NP / 4. NP.....	74
Obr. 61 – Relativní vlhkost povrchu konstrukcí v interiéru – 1. NP / 2. NP	74
Obr. 62 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 4. NP / 5. NP	75
Obr. 63 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 3. NP / 4. NP	76
Obr. 64 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 4. NP / 5.NP.....	76
Obr. 65 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 3. NP / 4.NP.....	77
Obr. 66 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 1. NP / 2.NP.....	77
Obr. 67 – Vnitřní povrchové teploty 4.NP / 5. NP	78
Obr. 68 – Vnitřní povrchové teploty 3. NP / 4. NP	79
Obr. 69 – Vnitřní povrchové teploty 1. NP / 2. NP	79
Obr. 70 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru – 4. NP / 5.NP.....	80
Obr. 71 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru 3. NP / 4. NP.....	81
Obr. 72 – Relativní vlhkost povrchu konstrukcí v interiéru – 1. NP / 2. NP	81
Obr. 73 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 4. NP / 5. NP	82
Obr. 74 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 3. NP / 4. NP	83
Obr. 75 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 4. NP / 5.NP.....	83
Obr. 76 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 3.NP / 4. NP.....	84
Obr. 77 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 1. NP / 2.NP.....	84

Obr. 78 – Vnitřní povrchové teploty 4. NP / 5. NP	85
Obr. 79 – Vnitřní povrchové teploty 3. NP / 4. NP	86
Obr. 80 – Vnitřní povrchové teploty 1. NP / 2. NP	86
Obr. 81 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru – 4. NP / 5.NP	88
Obr. 82 – Relativní vlhkost na povrchu konstrukcí v interiéru 3. NP / 4. NP	88
Obr. 83 – Relativní vlhkost povrchu konstrukcí v interiéru – 1. NP / 2. NP	89
Obr. 84 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 4. NP / 5. NP	90
Obr. 85 – Teplota a relativní vlhkost trámů – 3. NP / 4. NP	90
Obr. 86 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 4. NP / 5.NP	91
Obr. 87 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 3. NP / 4.NP	92
Obr. 88 – Tepelné toky na vnějším povrchu – 1. NP / 2.NP	92
Obr. 89 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model před zateplením	93
Obr. 90 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s přerušenu tepelnou izolací	94
Obr. 91 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s průběžnou tepelnou izolací	94
Obr. 92 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model před zateplením	95
Obr. 93 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s přerušenu tepelnou izolací	96
Obr. 94 – Relativní vlhkost v konstrukci a oblast kondenzace – model s průběžnou tepelnou izolací	96

Seznam tabulek

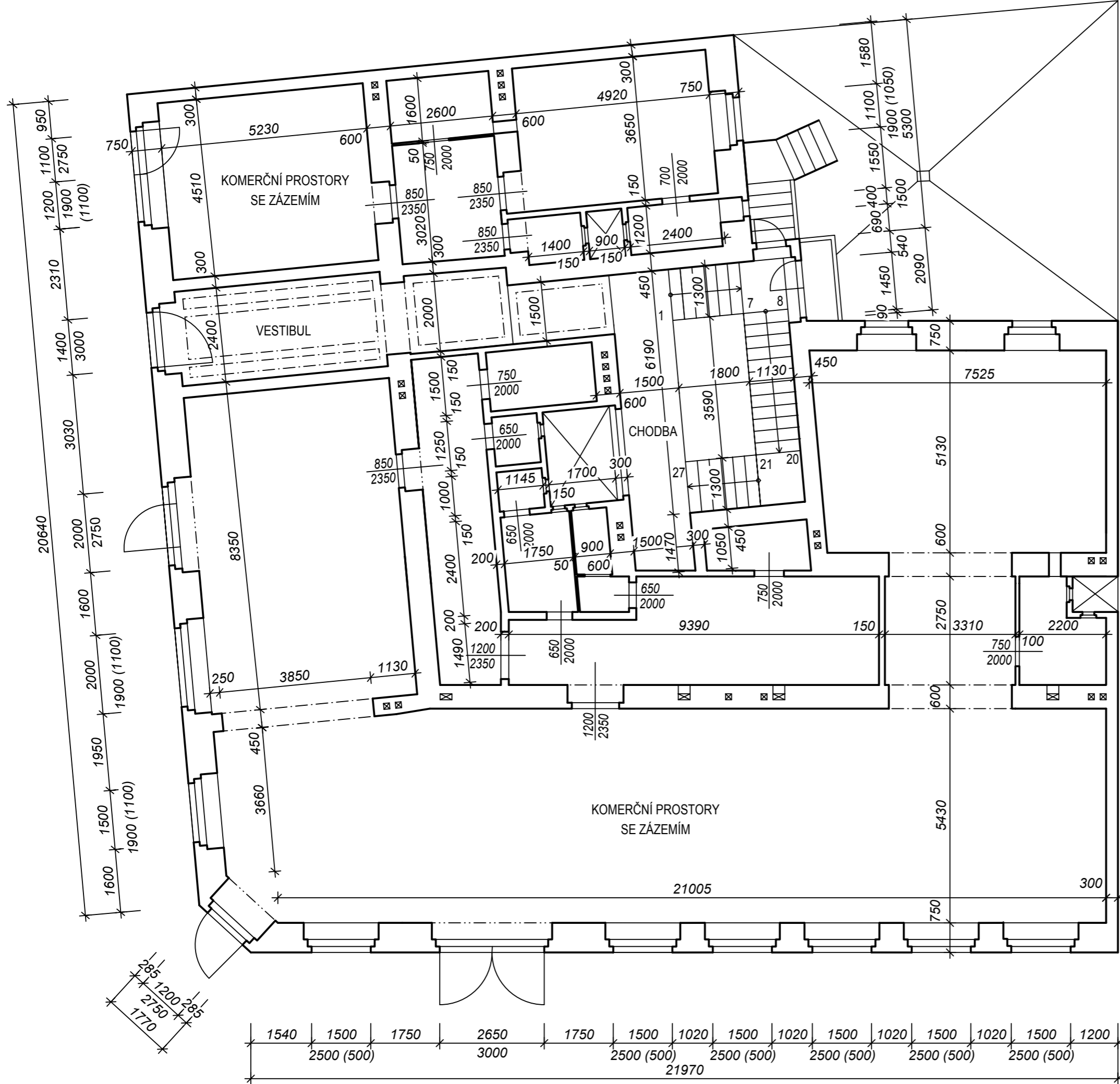
Tab. 1 – Parametry systému Rigips – Rigitherm	15
Tab. 2 – Parametry systému Ytong – Multipor	16
Tab. 3 – Parametry systému Kingspan – Kooltherm	18
Tab. 4 – Parametry systému Redstone – Pura	18
Tab. 5 – Parametry systému UdiIN RECO – flexibilní/omítací část	20
Tab. 6 – Klasifikace vlhkosti zdiva [16]	24
Tab. 7 – Výsledky gravimetrické metody měření vlhkosti	26
Tab. 8 – Vlhkost vzorků v krovu.....	29
Tab. 9 – Parametry termovizního měření.....	30
Tab. 10 – Materiálové charakteristiky.....	43
Tab. 11 – Okrajové podmínky 1D výpočtu.....	46
Tab. 12 – Porovnání celkového množství vody v konstrukci	62
Tab. 13 – Porovnání množství vody ve vrstvě měkké a tuhé dřevovláknité desky	62
Tab. 14 – Vyhodnocení skladby CPP tl. 450 mm	63
Tab. 15 – Vyhodnocení skladby CPP tl. 750 mm	65
Tab. 16 – Vyhodnocení skladby děrované cihly tl. 300 mm.....	67
Tab. 17 – Okrajové podmínky 3D výpočtu.....	70
Tab. 18 – Teplota ve vybraných bodech	97
Tab. 19 – Relativní vlhkost ve vybraných bodech	98
Tab. 20 – Tepelné toky na vnějším povrchu	101

Seznam grafů

Graf 1 – Celkové množství vody ve vrstvě měkké dřevovláknité desky.....	61
Graf 2 – Celkové množství vody ve vrstvě tuhé dřevovláknité desky	61
Graf 3 – Teplota ve vybraných bodech 3. NP/4. NP	97
Graf 4 – Relativní vlhkost ve vybraných bodech 3. NP/4. NP	99
Graf 5 – Tepelné toky na vnějším povrchu.....	101
Graf 6 – Tepelné toky na vnějším povrchu před a po zateplení	103

Seznam příloh

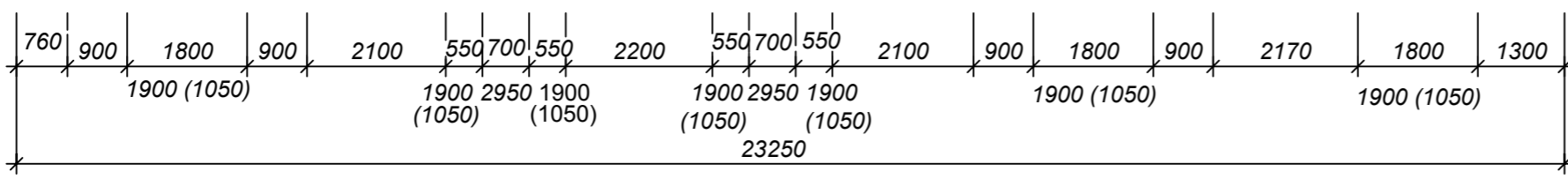
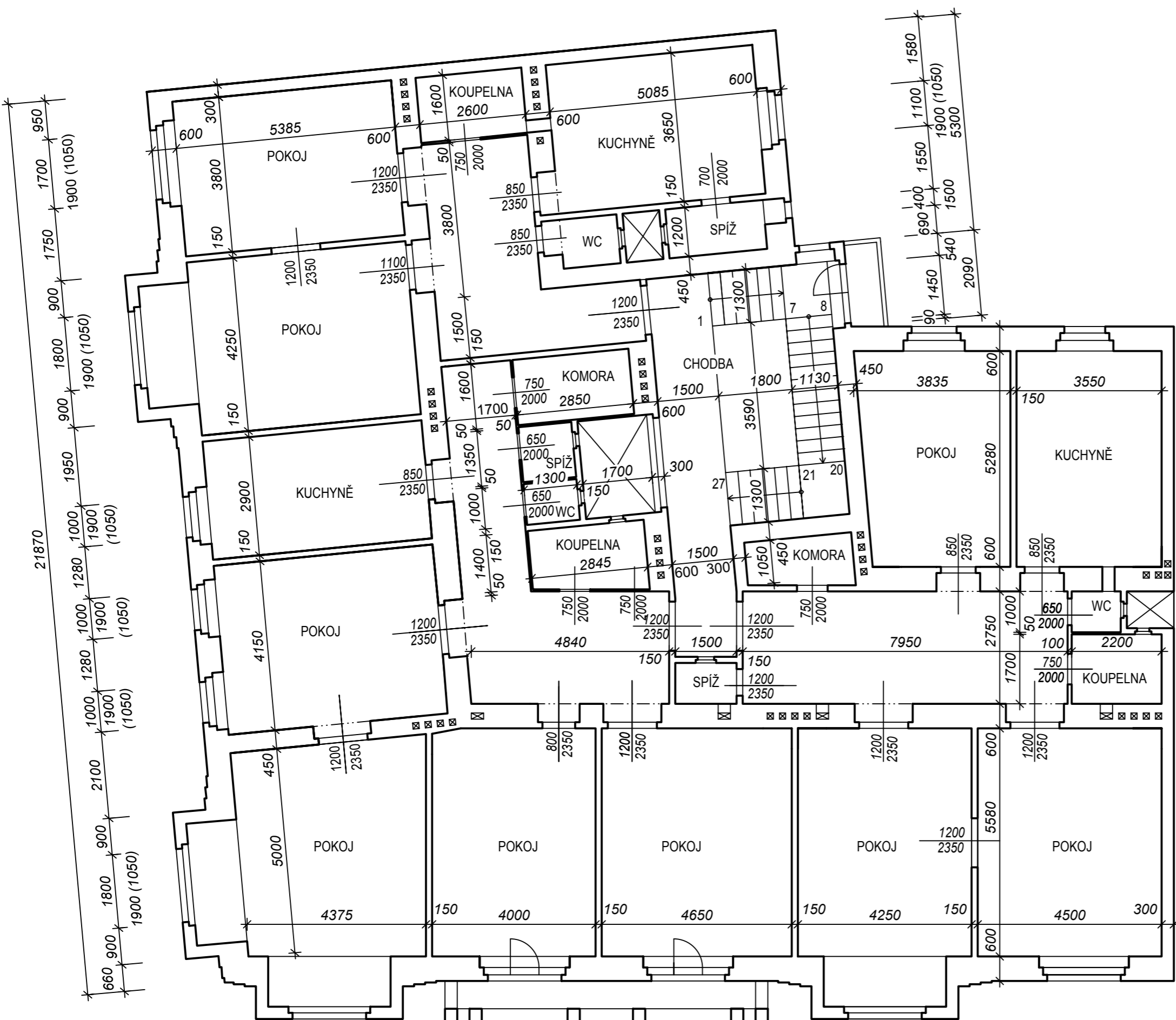
1. Půdorys 1. NP
2. Půdorys 2. NP
3. Půdorys 3. NP
4. Půdorys 4. NP
5. Půdorys 5. NP
6. Půdorys 1. PP
7. Řez objektem
8. Řez arkýřem 2. NP
9. Řez arkýřem 5. NP
10. Řez 5. NP
11. Řez arkýřem 2. NP – přerušené zateplení
12. Řez arkýřem 5. NP – přerušené zateplení
13. Řez 5. NP – přerušené zateplení
14. Řez arkýřem 2. NP – průběžné zateplení
15. Řez arkýřem 5. NP – průběžné zateplení
16. Řez 5. NP – průběžné zateplení



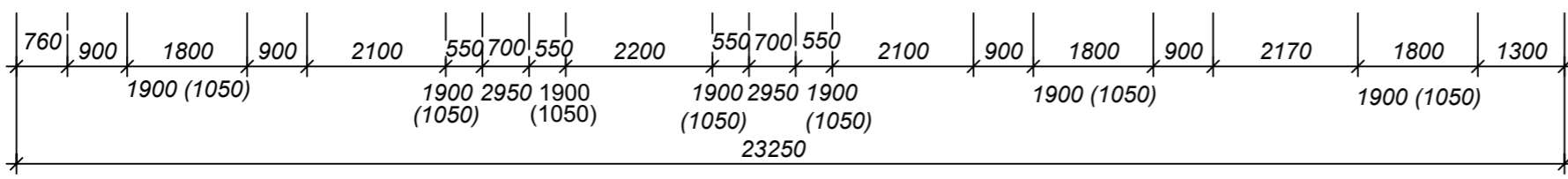
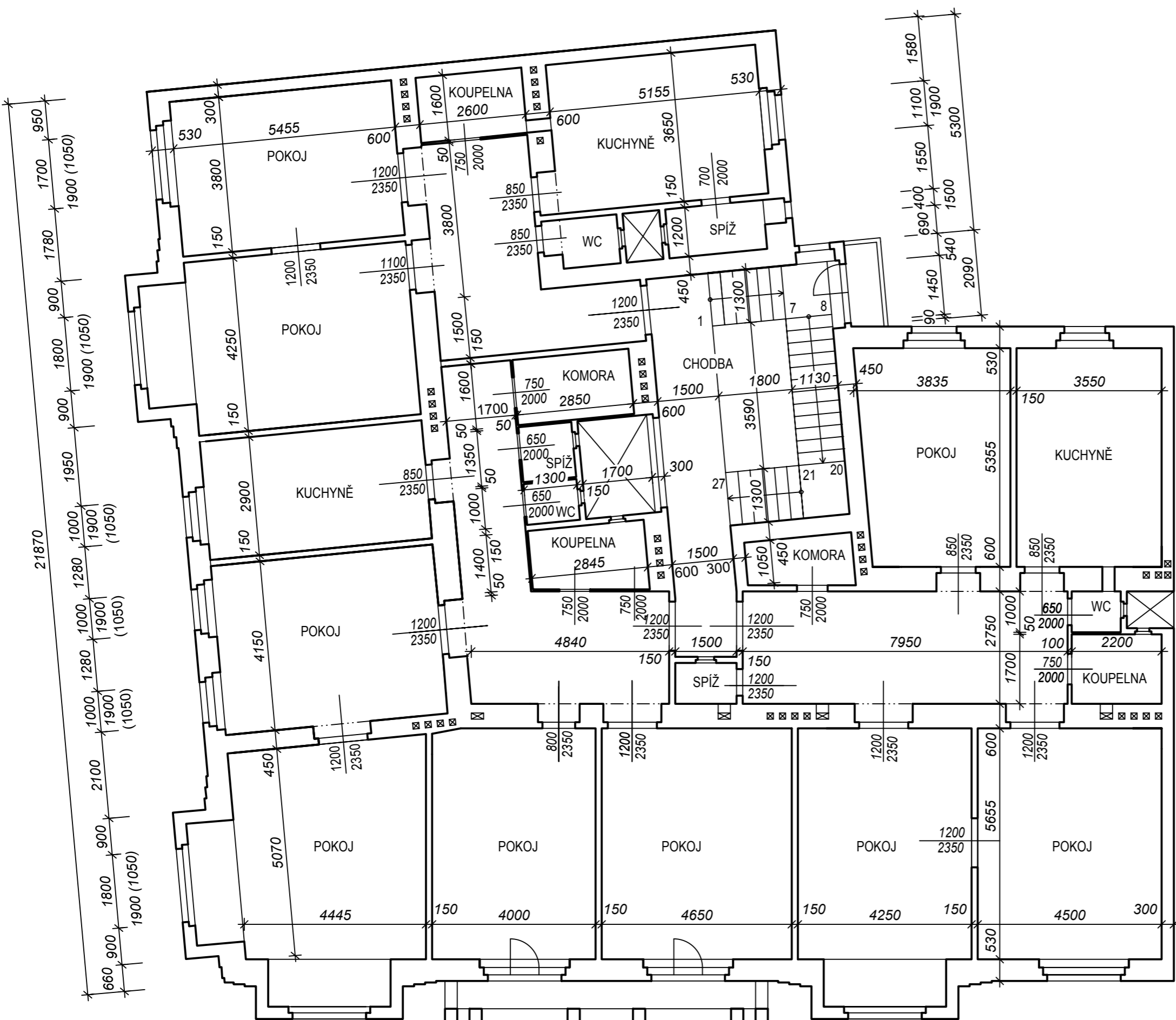
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:100
Výkres PŮDORYS 1. NP			Číslo výkresu 1.



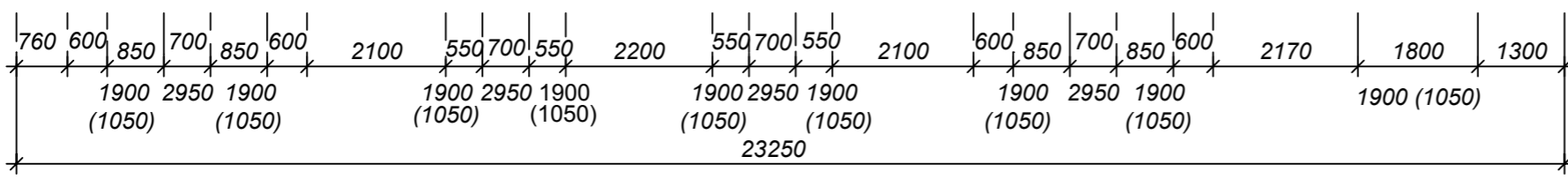
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:100
Výkres PŮDORYS 2. NP			Číslo výkresu 2.



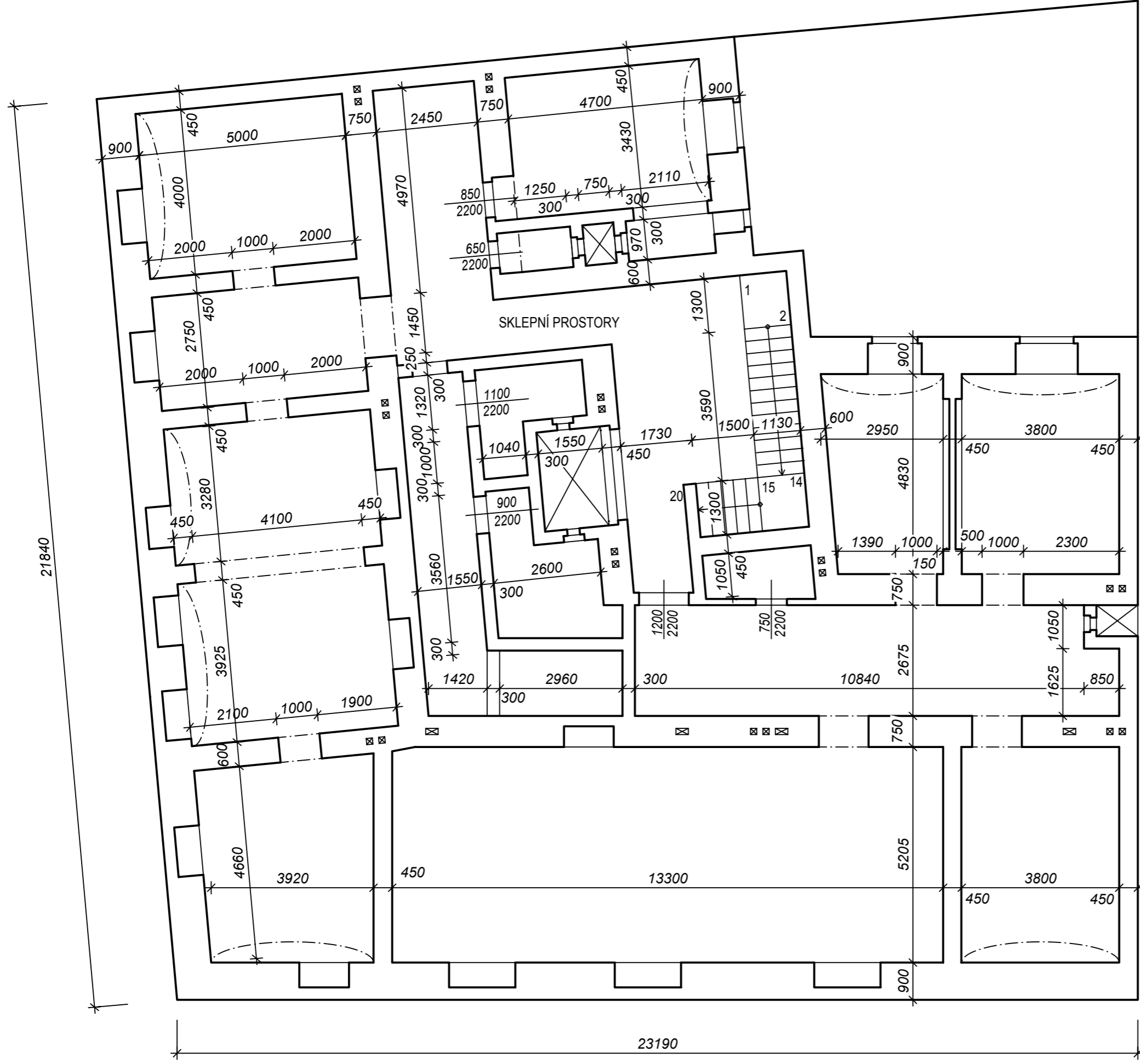
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:100
Výkres PŮDORYS 3. NP			Číslo výkresu 3.




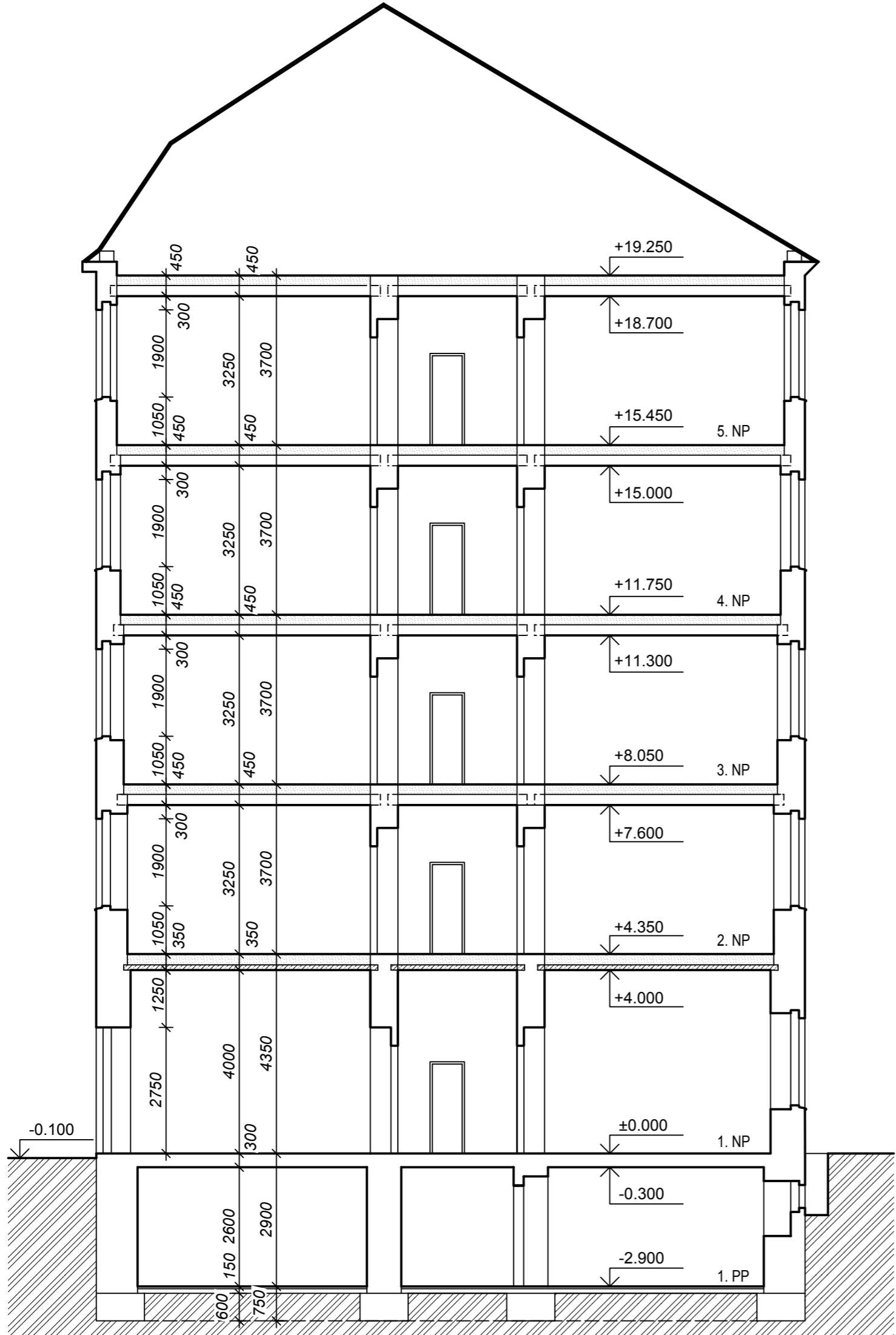
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:100
Výkres PŮDORYS 4. NP			Číslo výkresu 4.



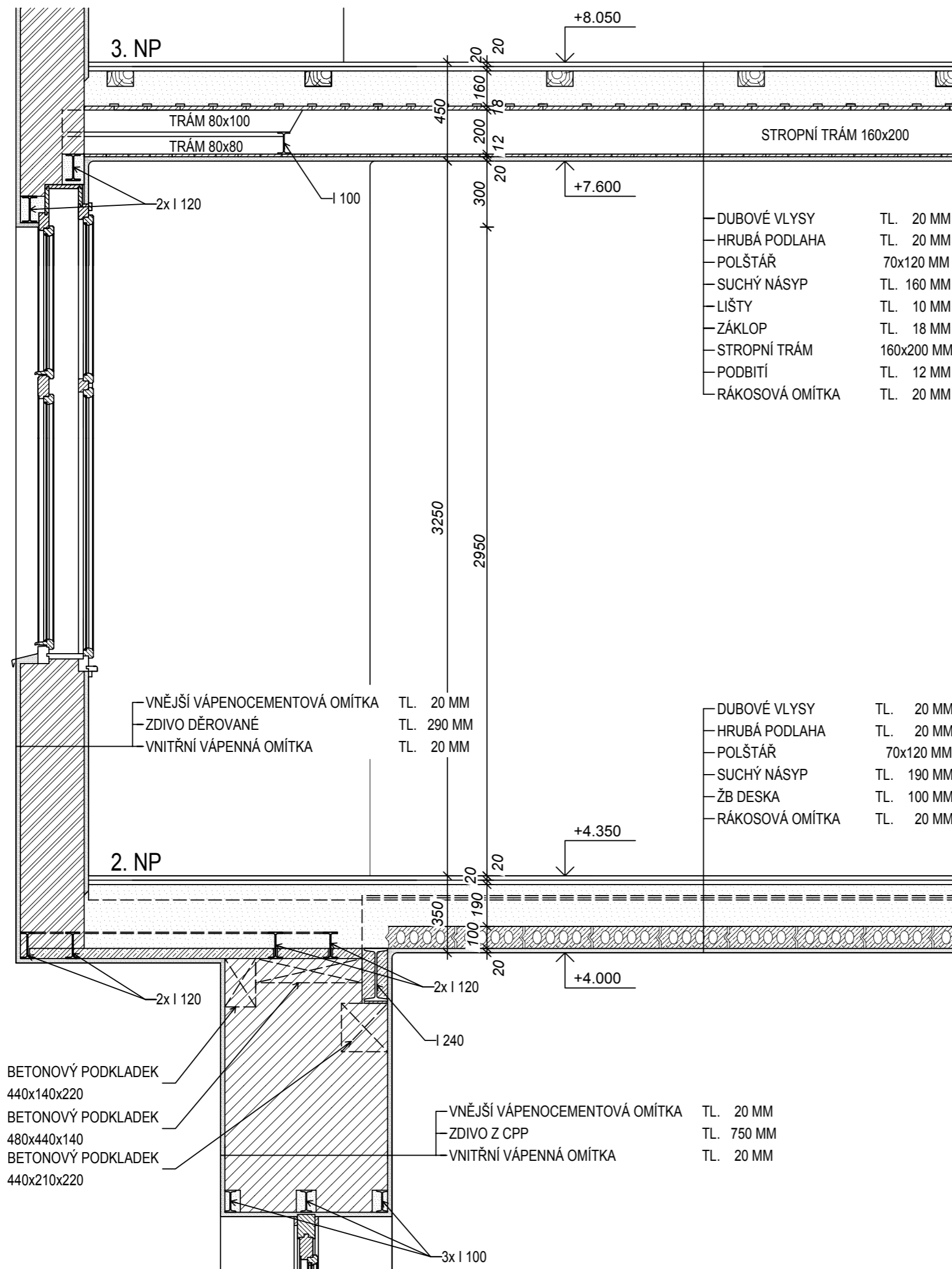
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:100
Výkres PŮDORYS 5. NP			Číslo výkresu 5.



Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT 
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU	Datum 12/2016	Měřítko 1:100	Číslo výkresu 6.
Výkres PŮDORYS 1. PP			



Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:100
Výkres ŘEZ OBJEKTEM			Číslo výkresu 7.



— DUBOVÉ VLYSY	TL. 20 MM
— HRUBÁ PODLAHA	TL. 20 MM
— POLŠTÁŘ	70x120 MM
— SUCHÝ NÁSYP	TL. 160 MM
— LIŠTY	TL. 10 MM
— ZÁKLOP	TL. 18 MM
— STROPNÍ TRÁM	160x200 MM
— PODBITÍ	TL. 12 MM
— RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

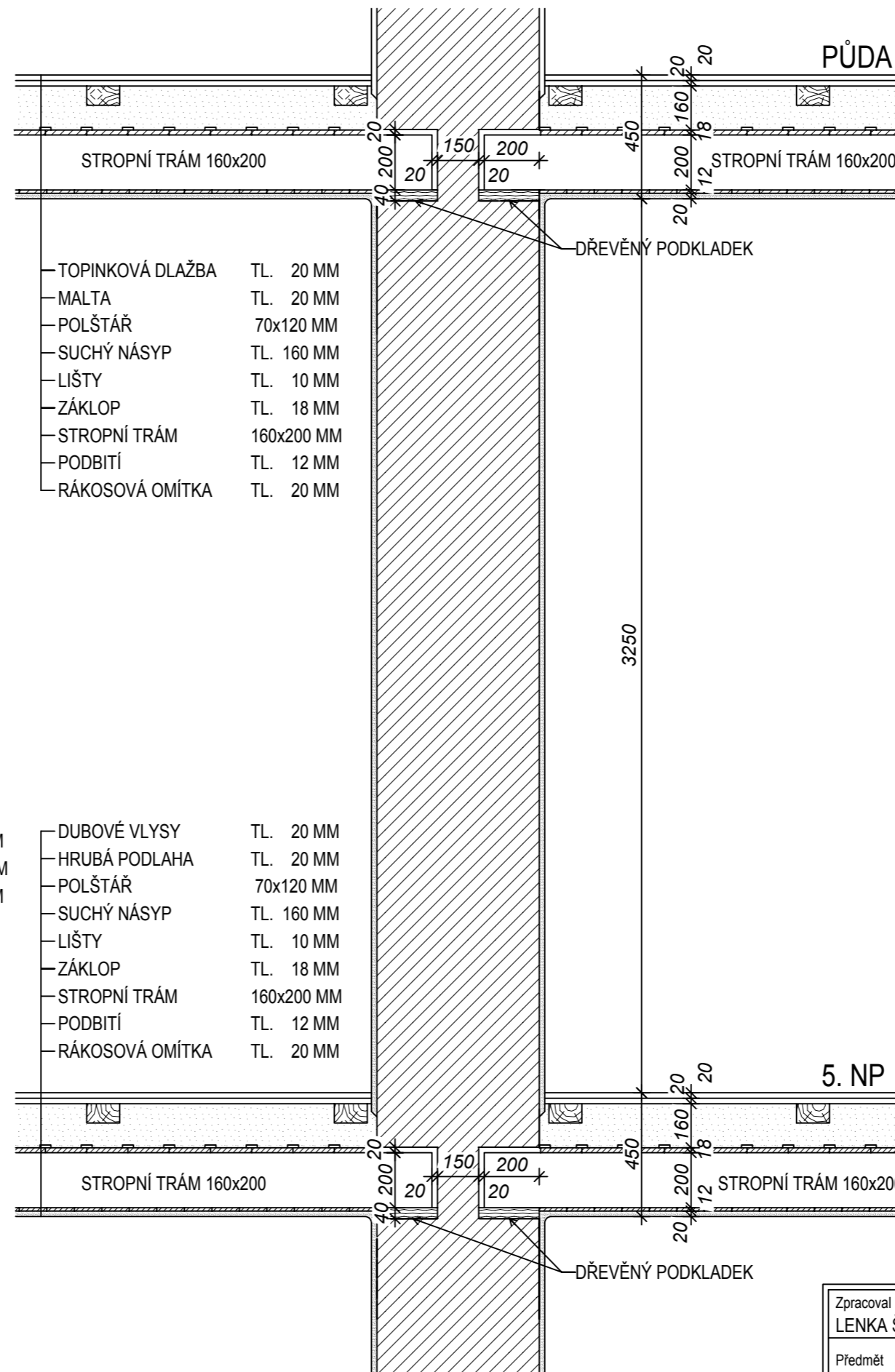
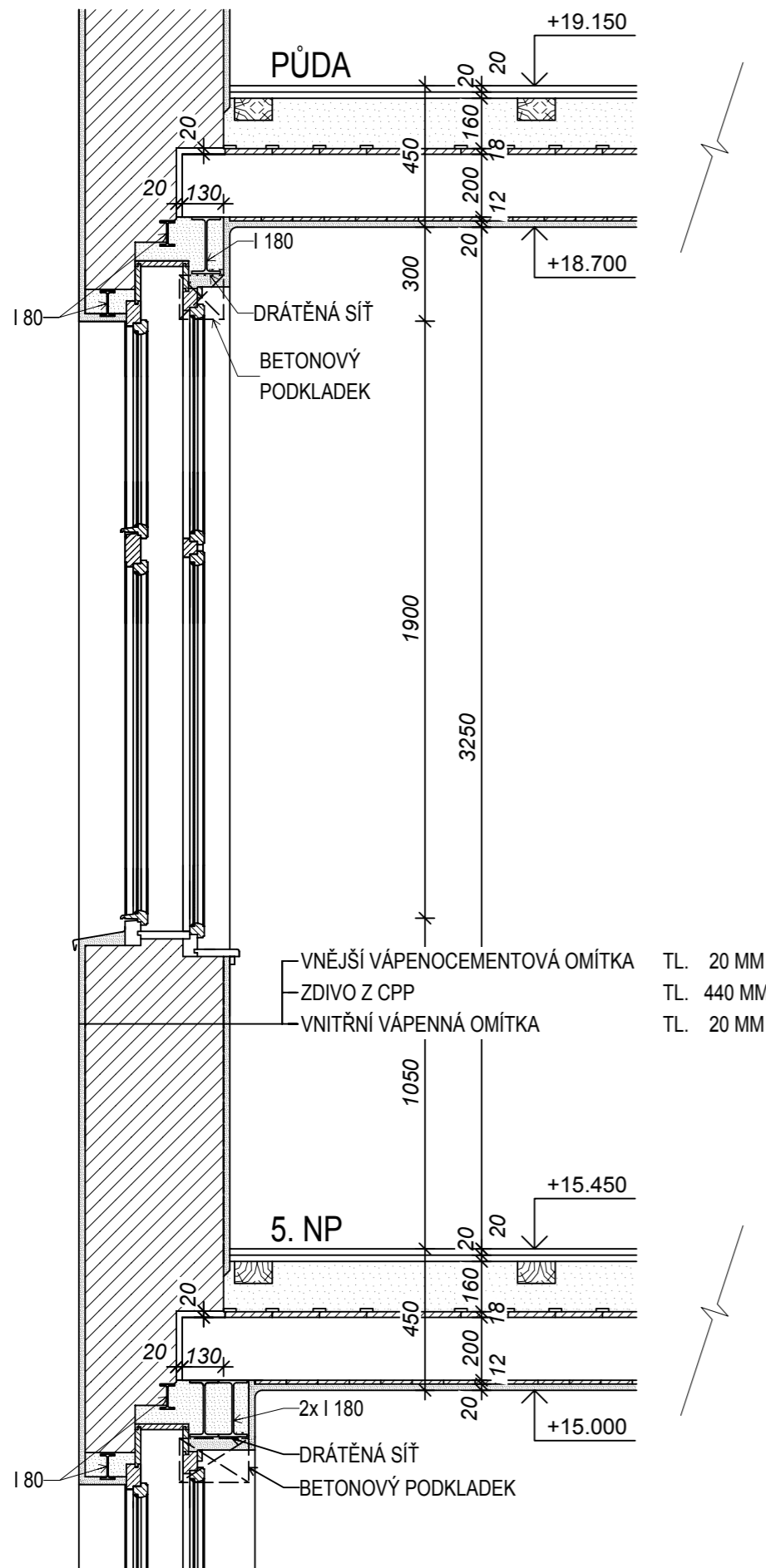
— DUBOVÉ VLYSY	TL. 20 MM
— HRUBÁ PODLAHA	TL. 20 MM
— POLŠTÁŘ	70x120 MM
— SUCHÝ NÁSYP	TL. 190 MM
— ŽB DESKA	TL. 100 MM
— RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

— VNĚJŠÍ VÁPENOCEMENTOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM
— ZDIVO DĚROVANÉ	TL. 290 MM
— VNITŘNÍ VÁPENNÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

— VNĚJŠÍ VÁPENOCEMENTOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM
— ZDIVO Z CPP	TL. 750 MM
— VNITŘNÍ VÁPENNÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

BETONOVÝ PODKLADEK
440x140x220
BETONOVÝ PODKLADEK
480x440x140
BETONOVÝ PODKLADEK
440x210x220

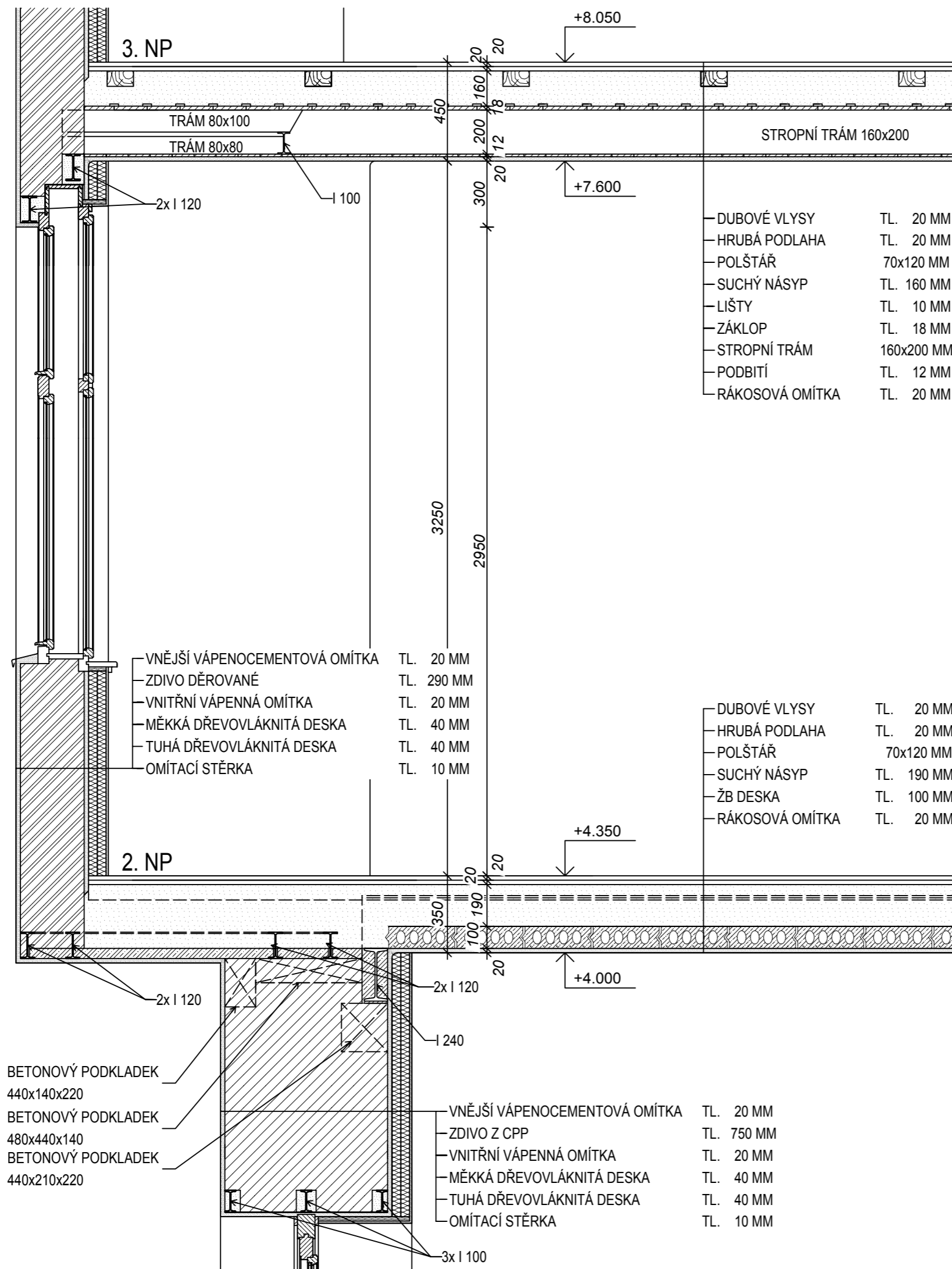
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU	Datum 12/2016	Měřítko 1:20	
Výkres ŘEZ ARKÝŘEM 2. NP	Číslo výkresu 8.		



- TOPINKOVÁ DLAŽBA TL. 20 MM
- MALTA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

- DUBOVÉ VLYSY TL. 20 MM
- HRUBÁ PODLAHA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:20
Výkres ŘEZ 5. NP			Číslo výkresu 10.



- DUBOVÉ VLYSY TL. 20 MM
- HRUBÁ PODLAHA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

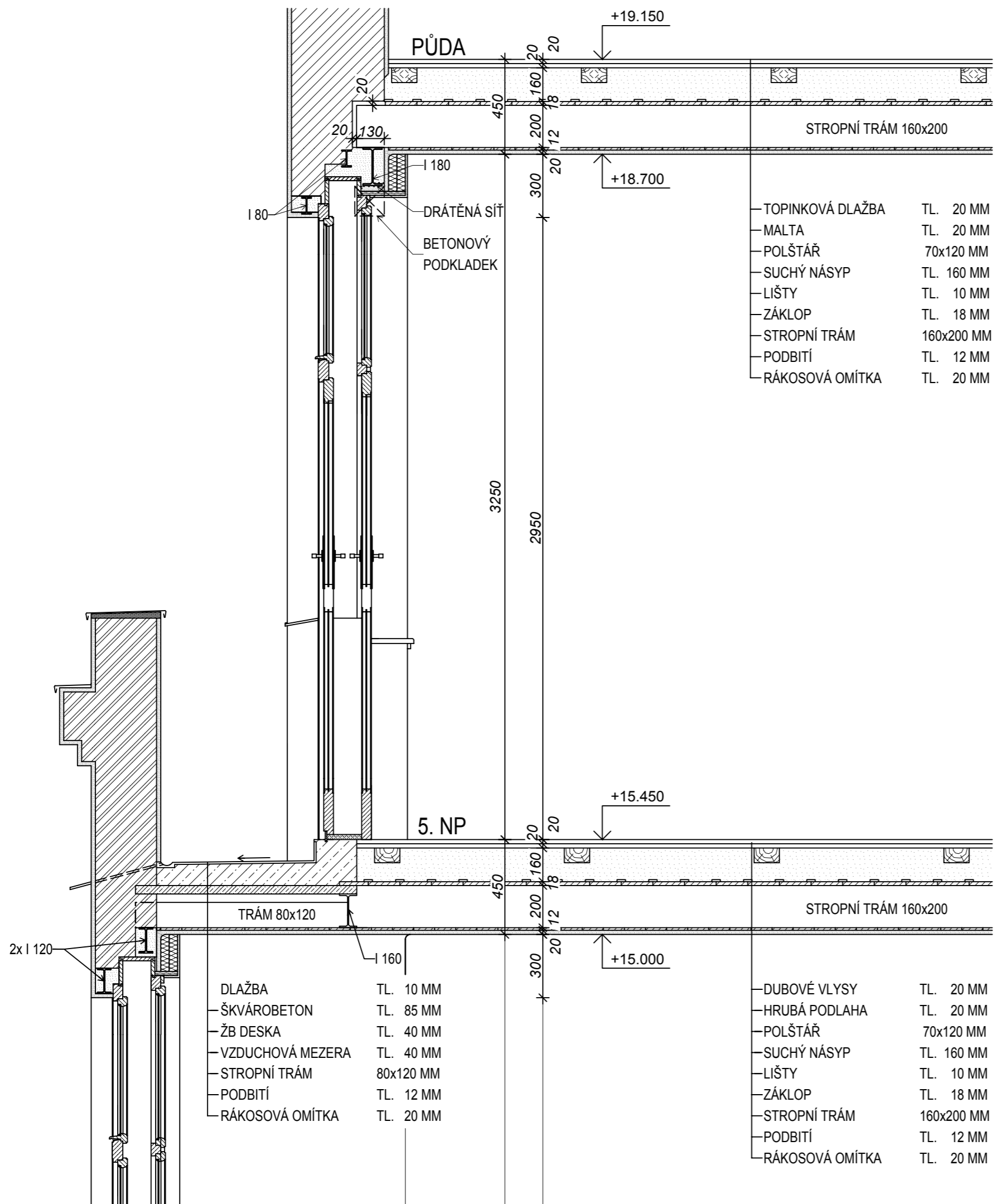
- VNĚJŠÍ VÁPENOCEMENTOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM
- ZDIVO DĚROVANÉ TL. 290 MM
- VNITŘNÍ VÁPENNÁ OMÍTKA TL. 20 MM
- MĚKKÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA TL. 40 MM
- TUHÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA TL. 40 MM
- OMÍTACÍ STĚRKA TL. 10 MM

- DUBOVÉ VLYSY TL. 20 MM
- HRUBÁ PODLAHA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 190 MM
- ŽB DESKA TL. 100 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

- BETONOVÝ PODKLADEK 440x140x220
- BETONOVÝ PODKLADEK 480x440x140
- BETONOVÝ PODKLADEK 440x210x220

- VNĚJŠÍ VÁPENOCEMENTOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM
- ZDIVO Z CPP TL. 750 MM
- VNITŘNÍ VÁPENNÁ OMÍTKA TL. 20 MM
- MĚKKÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA TL. 40 MM
- TUHÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA TL. 40 MM
- OMÍTACÍ STĚRKA TL. 10 MM


Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU	Datum 12/2016	Měřítko 1:20	
Výkres ŘEZ ARKÝŘEM 2. NP - PŘERUŠENÉ ZATEPLENÍ	Číslo výkresu 11.		

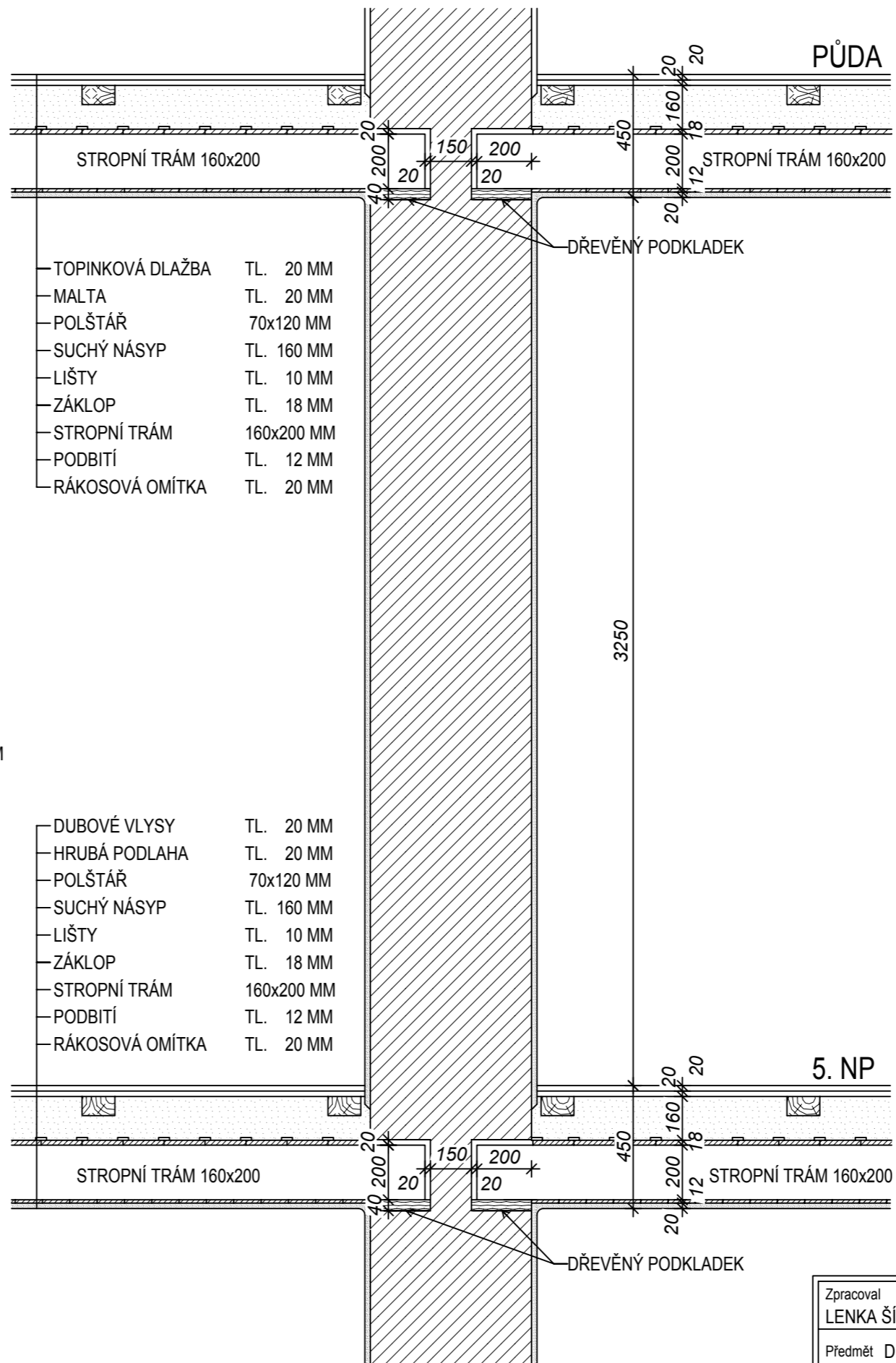
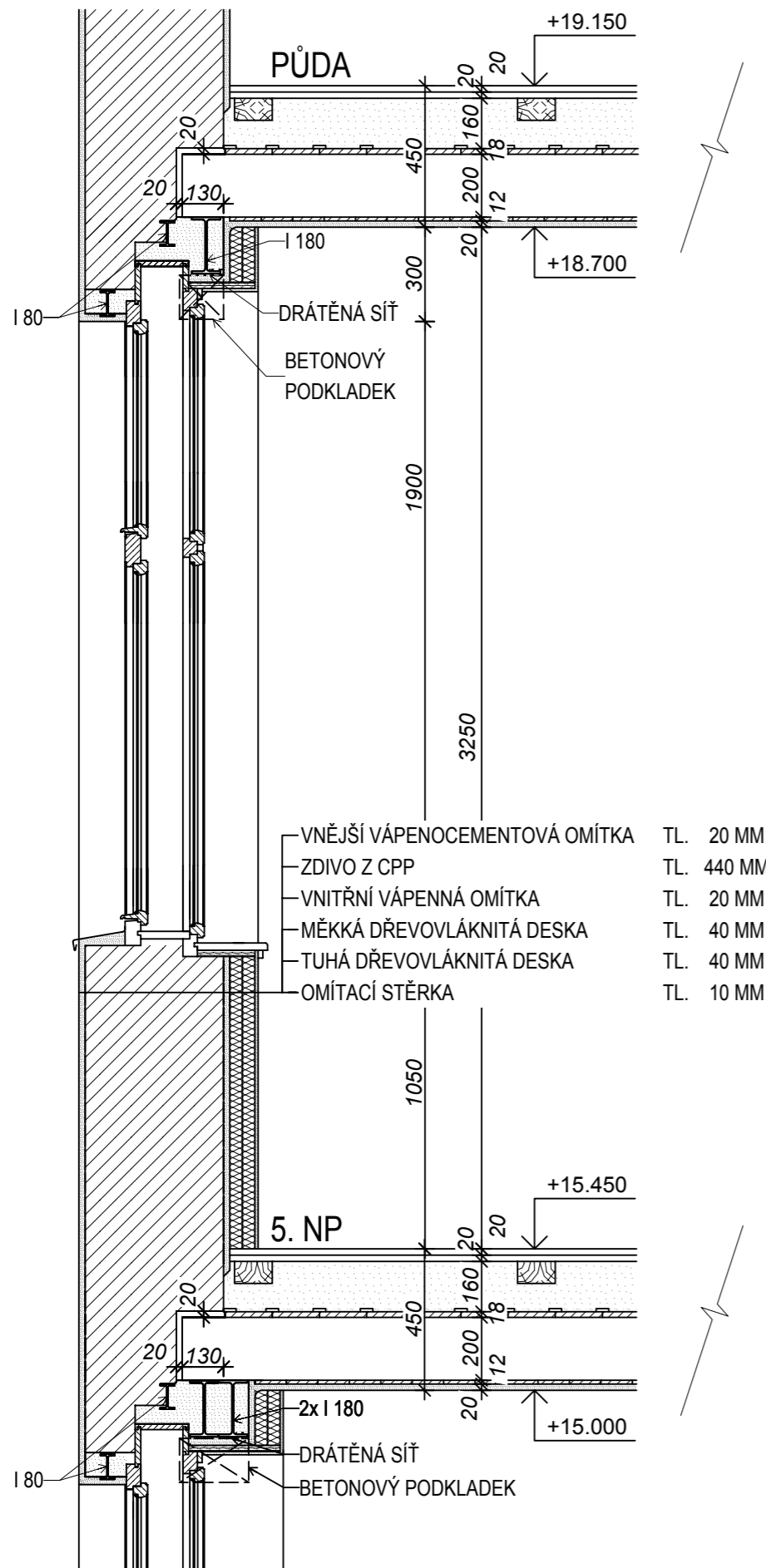


TOPINKOVÁ DLAŽBA	TL. 20 MM
MALTA	TL. 20 MM
POLŠTÁŘ	70x120 MM
SUCHÝ NÁSYP	TL. 160 MM
LIŠTY	TL. 10 MM
ZÁKLOP	TL. 18 MM
STROPNÍ TRÁM	160x200 MM
PODBITÍ	TL. 12 MM
RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

DLAŽBA	TL. 10 MM
ŠKVÁROBETON	TL. 85 MM
ŽB DESKA	TL. 40 MM
VZDUCHOVÁ MEZERA	TL. 40 MM
STROPNÍ TRÁM	80x120 MM
PODBITÍ	TL. 12 MM
RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

DUBOVÉ VLYSY	TL. 20 MM
HRUBÁ PODLAHA	TL. 20 MM
POLŠTÁŘ	70x120 MM
SUCHÝ NÁSYP	TL. 160 MM
LIŠTY	TL. 10 MM
ZÁKLOP	TL. 18 MM
STROPNÍ TRÁM	160x200 MM
PODBITÍ	TL. 12 MM
RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

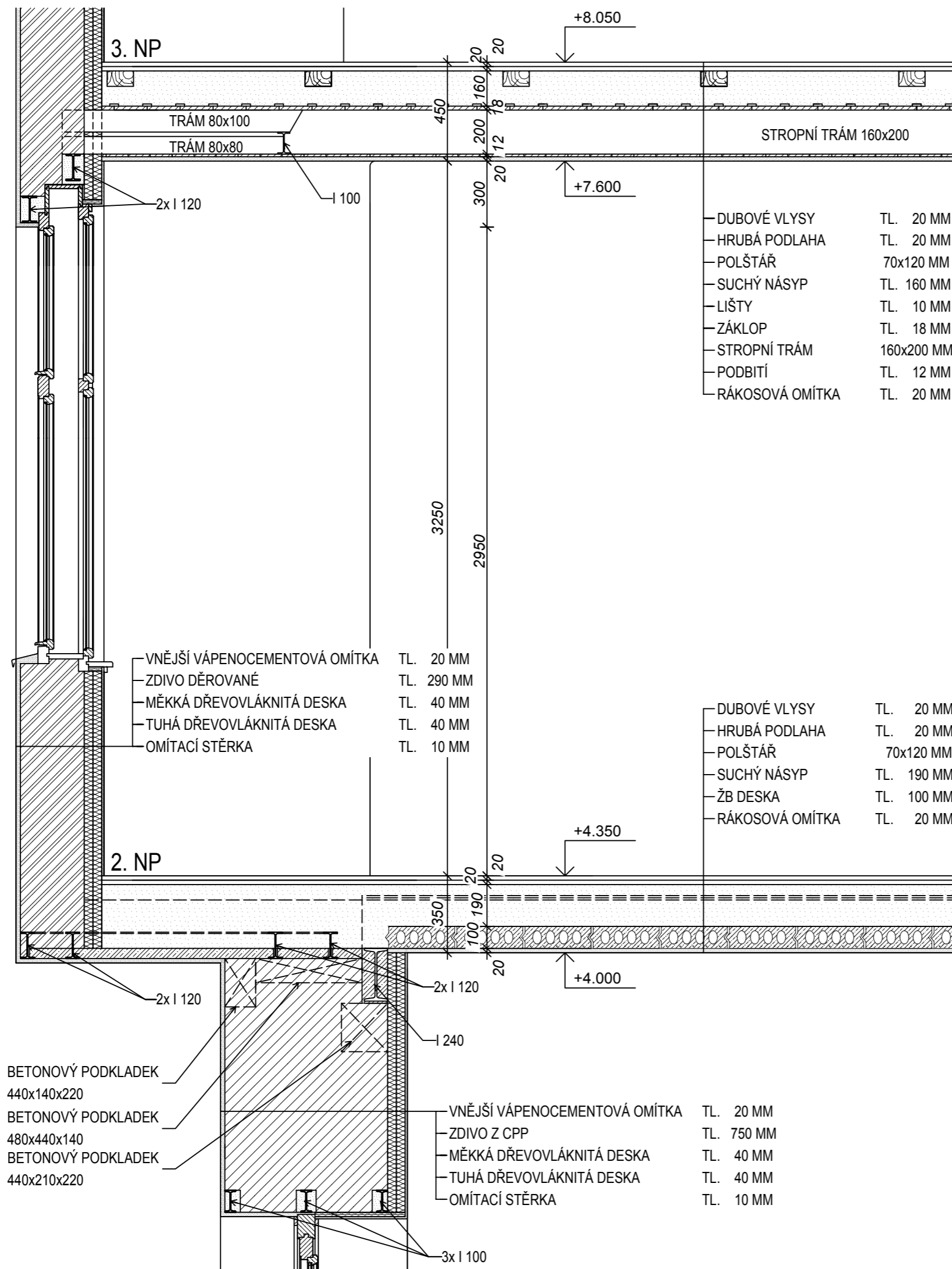
Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební 
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha	STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU		Datum 12/2016
Výkres	ŘEZ ARKÝŘEM 5. NP - PŘERUŠENÉ ZATEPLENÍ		Měřítko 1:20
			Číslo výkresu 12.



- TOPINKOVÁ DLAŽBA TL. 20 MM
- MALTA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

- DUBOVÉ VLYSY TL. 20 MM
- HRUBÁ PODLAHA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU	Datum 12/2016	Měřítko 1:20	
Výkres ŘEZ 5. NP - PŘERUŠENÉ ZATEPLENÍ	Číslo výkresu 13.		



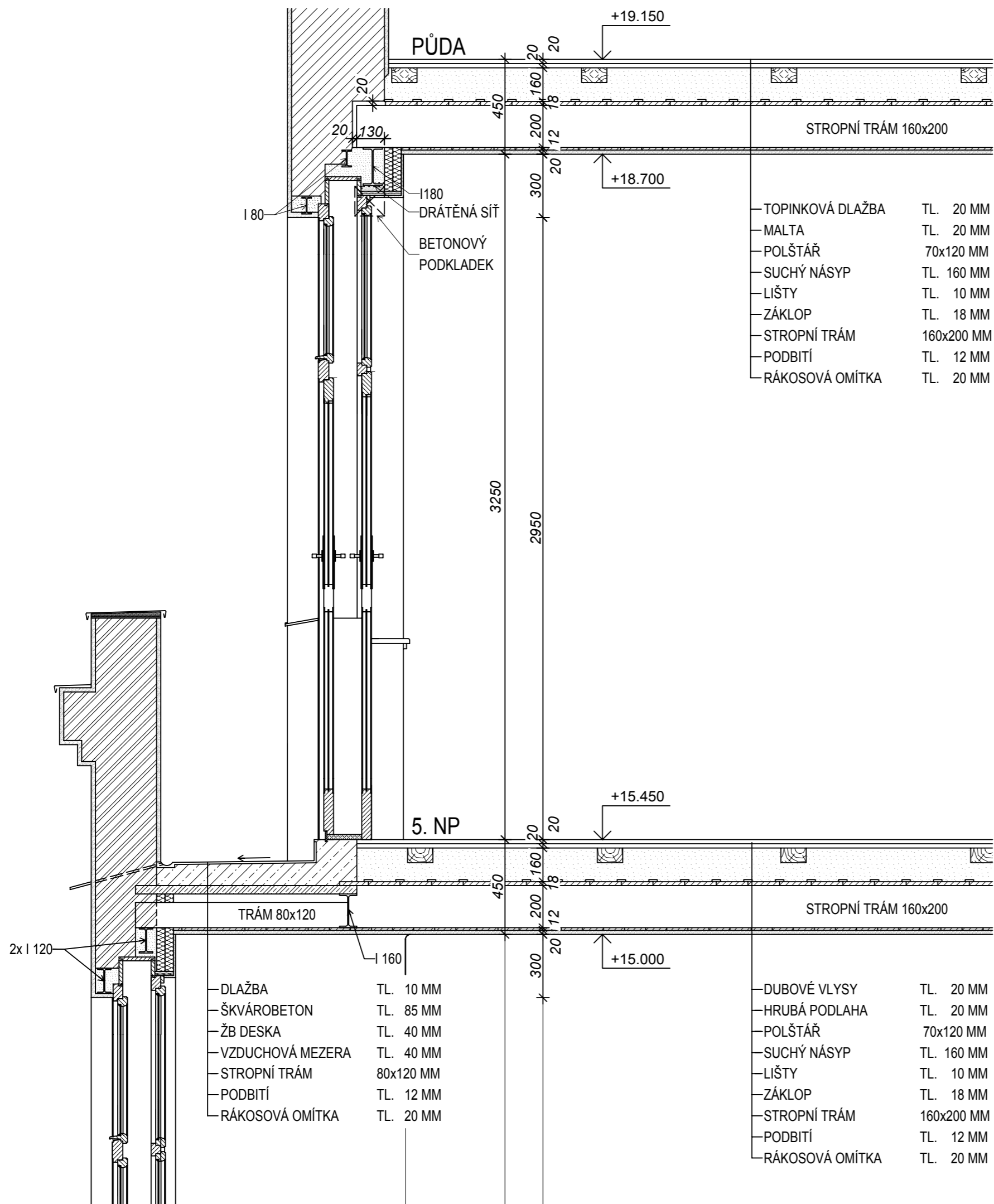
— DUBOVÉ VLYSY	TL. 20 MM
— HRUBÁ PODLAHA	TL. 20 MM
— POLŠTÁŘ	70x120 MM
— SUCHÝ NÁSYP	TL. 160 MM
— LIŠTY	TL. 10 MM
— ZÁKLOP	TL. 18 MM
— STROPNÍ TRÁM	160x200 MM
— PODBITÍ	TL. 12 MM
— RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

— DUBOVÉ VLYSY	TL. 20 MM
— HRUBÁ PODLAHA	TL. 20 MM
— POLŠTÁŘ	70x120 MM
— SUCHÝ NÁSYP	TL. 190 MM
— ŽB DESKA	TL. 100 MM
— RÁKOSOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM

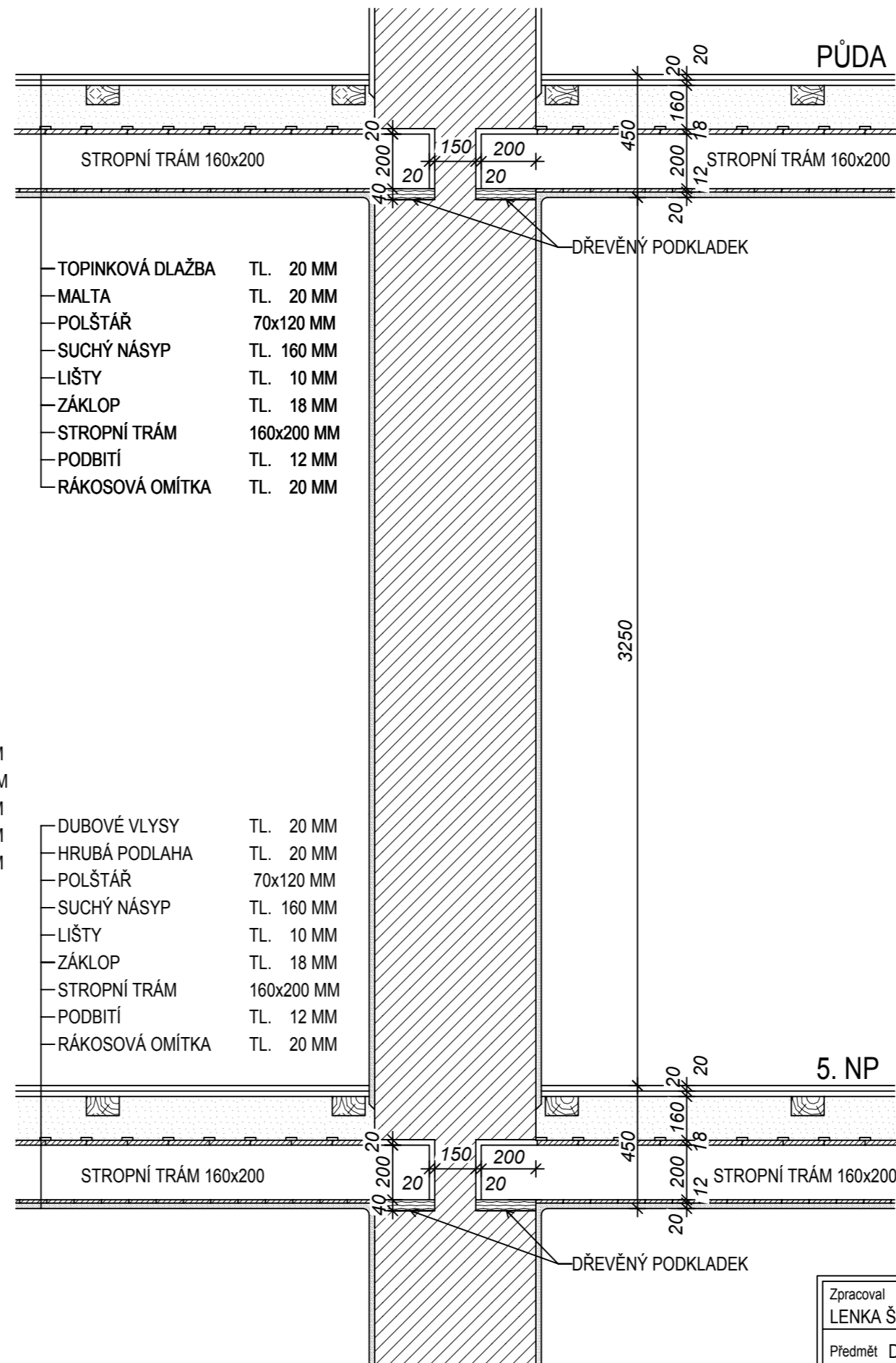
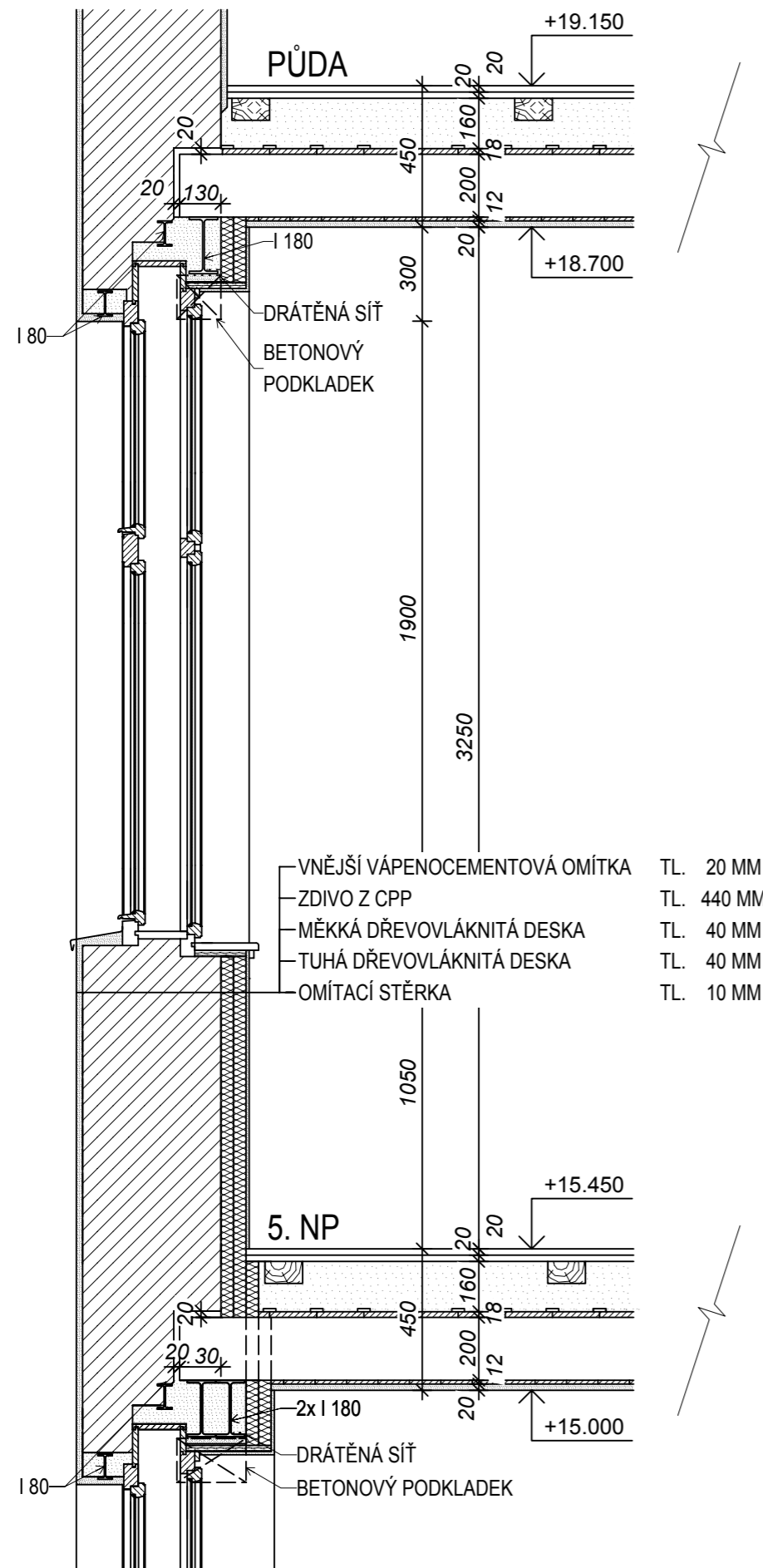
— VNĚJŠÍ VÁPENOCEMENTOVÁ OMÍTKA	TL. 20 MM
— ZDIVO Z CPP	TL. 750 MM
— MĚKKÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA	TL. 40 MM
— TUHÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA	TL. 40 MM
— OMÍTACÍ STĚRKA	TL. 10 MM

BETONOVÝ PODKLADEK
440x140x220
BETONOVÝ PODKLADEK
480x440x140
BETONOVÝ PODKLADEK
440x210x220

Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU	Datum 12/2016	Měřítko 1:20	
Výkres ŘEZ ARKÝŘEM 2. NP - PRŮBĚŽNÉ ZATEPLENÍ	Číslo výkresu 14.		



Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 12/2016
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU			Měřítko 1:20
Výkres ŘEZ ARKÝŘEM 5. NP - PRŮBĚŽNÉ ZATEPLENÍ			Číslo výkresu 15.



- TOPINKOVÁ DLAŽBA TL. 20 MM
- MALTA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

- DUBOVÉ VLYSY TL. 20 MM
- HRUBÁ PODLAHA TL. 20 MM
- POLŠTÁŘ 70x120 MM
- SUCHÝ NÁSYP TL. 160 MM
- LIŠTY TL. 10 MM
- ZÁKLOP TL. 18 MM
- STROPNÍ TRÁM 160x200 MM
- PODBITÍ TL. 12 MM
- RÁKOSOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM

- VNĚJŠÍ VÁPENOCEMENTOVÁ OMÍTKA TL. 20 MM
- ZDIVO Z CPP TL. 440 MM
- MĚKKÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA TL. 40 MM
- TUHÁ DŘEVOVLÁKNITÁ DESKA TL. 40 MM
- OMÍTACÍ STĚRKA TL. 10 MM

Zpracoval LENKA ŠÍDLOVÁ	Konzultant ING. KAMIL STANĚK Ph.D	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět DIPLOMOVÁ PRÁCE			
Úloha STUDIE VNITŘNÍHO ZATEPLENÍ BYTOVÉHO DOMU	Datum 12/2016		
Výkres ŘEZ 5. NP - PRŮBĚŽNÉ ZATEPLENÍ	Měřítko 1:20		
	Číslo výkresu 16.		