

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

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



**Výpočtová analýza tepelných vlastností stavebních
detailů**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala:

Ivana Bažantová

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Novák Ph.D.

2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bažantová Jméno: Ivana Osobní číslo: 458580
Zadávající katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb K124
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Výpočtová analýza tepelných vlastností stavebních detailů
Název bakalářské práce anglicky: Numerical assessment of thermal bridge effect for alternative solutions of structural details (connections between building structures)

Pokyny pro vypracování:

- výběr stavebních detailů pro analýzu
- návrh konstrukčního řešení vybraných detailů ve variantách - obvyklé řešení, obvyklé řešení pro pasivní dům a nejlepší dostupné (pokročilé, progresivní) řešení
- výpočet lineárního činitele prostupu tepla a nejnižší vnitřní povrchové teploty pro vybrané varianty
- výstupem bude katalog detailů, pro každý detail bude k dispozici několik variant v různých úrovních konstrukční tepelně izolační kvality

Seznam doporučené literatury:

- ČSN EN ISO 10211, Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Tepelné toky a povrchové teploty - Podrobné výpočty, ÚNMZ 2018
- Hazucha J., Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy, Grada publishing 2016

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 18.2.2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.

18.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výpočtová analýza tepelných vlastností stavebních detailů** zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití 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 dne: 26. 5 .2019

.....
Jméno Příjmení

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za jeho trpělivost, odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a blízkým za podporu během celého studia.

Anotace

Tato práce se zabývá výpočtovou analýzou stavebních detailů a jejich konstrukčních variant. Porovnáva konstrukční varianty z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty a lineárního činitele prostupu tepla. Tyto hodnoty jsou zjištěny pomocí výpočtu ve 2D teplotním poli. Práce uvádí výhody každého řešení v porovnání se základní variantou.

V první části se práce zabývá obecným postupem výpočtu 2D teplotního pole detailu. Druhá část se zabývá konkrétními detaily a porovnáva konstrukční varianty. V příloze je katalog detailů, kde jsou uvedeny všechny výsledky každé konstrukční varianty a na závěr všech variant je grafické porovnání sledovaných hodnot.

Klíčová slova:

stavební detail, lineární činitel prostupu tepla, minimální vnitřní povrchová teplota, 2D teplotní pole

Summary

The thesis deals with the numerical assessment of structural details and their construction variants. Solutions are compared among themselves based on the value of linear thermal transmittance and the lowest internal surface temperature. These values are results of a computation in 2D temperature field. Thesis demonstrates advantages of each solution in comparison with the basic variant.

The work consists of two parts. Firstly, reader is acquainted with a computation method of construction detail by using 2D temperature field. Secondly, particular details are shown and construction variants are compared among themselves. The appendix contains results of all construction variants, which are compared in a bar chart located in the end.

Key words:

construction detail, linear thermal transmittance, the lowest internal surface temperature, 2D temperature field

Obsah

Úvod	9
1. Postup výpočtu.....	9
2. Popis vybraných detailů	10
3. Výpočet 2D teplotního pole	11
3.1. Popis materiálů	11
3.2. Návrh skladby konstrukcí	12
3.3. Stanovení okrajových podmínek.....	15
3.4. Modelování detailu pro výpočet 2D teplotního pole.....	16
3.4.1. Materiály	16
3.4.2. Rozměry výpočetního modelu	16
3.4.3. Okrajové podmínky pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla	17
3.4.4. Vedení hranice vytápěné zóny.....	17
3.4.5. Výpočet lineárního činitele prostupu tepla.....	17
3.4.6. 2D teplotní pole.....	19
3.4.7. Výpočet minimální povrchové teploty.....	19
3.4.8. Okrajové podmínky pro výpočet minimální povrchové teploty	19
3.4.9. Návrh revize normy ČSN 730540–2	21
4. Popis jednotlivých detailů	23
4.1. Detail 1	23
4.1.1. Výpočet	23
4.1.2. Zjednodušení.....	27
4.1.3. Konstrukční varianty	28
4.1.4. Výsledky	29
4.1.5. Dílčí závěr	30
4.2. Detail 2	31
4.2.1. Výpočet	31
4.2.2. Zjednodušení.....	31
4.2.3. Konstrukční varianty	31
4.2.4. Výsledky	33
4.2.5. Dílčí závěr	33
4.3. Detail 3	35
4.3.1. Výpočet	35
4.3.2. Zjednodušení.....	35
4.3.3. Konstrukční varianty	36
4.3.4. Výsledky	37
4.3.5. Dílčí závěr	37

4.4.	Detail 4	38
4.4.1.	Výpočet	38
4.4.2.	Zjednodušení.....	39
4.4.3.	Konstrukční varianty	39
4.4.4.	Výsledky	41
4.4.5.	Dílčí závěr	41
4.5.	Detail 5	42
4.5.1.	Výpočet	42
4.5.2.	Zjednodušení.....	43
4.5.3.	Konstrukční varianty	43
4.5.4.	Výsledky	45
4.5.5.	Dílčí závěr	45
4.6.	Detail 6	46
4.6.1.	Výpočet	46
4.6.2.	Zjednodušení.....	46
4.6.3.	Konstrukční varianty	47
4.6.4.	Výsledky	48
4.6.5.	Dílčí závěr	49
4.7.	Detail 7	50
4.7.1.	Výpočet	50
4.7.2.	Zjednodušení.....	51
4.7.3.	Konstrukční varianty	52
4.7.4.	Výsledky	53
4.7.5.	Dílčí závěr	54
4.8.	Detail 8	55
4.8.1.	Výpočet	55
4.8.2.	Zjednodušení.....	57
4.8.3.	Konstrukční varianty	57
4.8.4.	Výsledky	59
4.8.5.	Dílčí závěr	60
5.	Závěr.....	61
	Seznam literatury	63
	Seznam příloh.....	64
	Příloha 1	1

Úvod

Se zvyšujícími energetickými nároky na budovy se zvyšuje i význam tepelných mostů. Zejména u pasivních budov mají tepelné mosty významný vliv na energetickou náročnost budovy. Přičemž koncept pasivních budov je založen na několika principech [16]:

- dobře izolovaná obálka budovy
- konstrukce bez tepelných mostů
- využití solární energie
- zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci, s tím souvisí i neprůvzdušnost obálky

V této práci se zaměřujeme právě na řešení tepelných mostů v konstrukčních detailech. Detaily jsou hodnoceny na základě minimální vnitřní povrchové teploty $\vartheta_{s,min}$ a lineárního činitele prostupu tepla ψ .

Tyto hodnoty se zjistí pomocí výpočtu ve 2D teplotním poli. V katalogu detailů jsou tyto hodnoty uvedeny u každé varianty spolu s grafickým výstupem průběhu teplot ve 2D teplotním poli.

V této práci si ukážeme možné dobré i špatné řešení vybraných detailů a ukážeme i to nejlepší možné řešení pro pasivní budovy. Dobré řešení detailů snižuje riziko vzniku plísní a významně snižuje energetickou náročnost budovy oproti klasickému (často nedostačujícímu) řešení.

Cíl práce:

- Porovnání konstrukčních variant detailů z hlediska hodnoty lineárního činitele prostupu tepla a minimální povrchové teploty. Cílem je také porovnat, jak jsou varianty lepší ve srovnání se základní (klasickou) variantou. Právě takové porovnání chybí u běžně dostupných katalogů konstrukčních detailů.

Vyhodnocení konstrukčních variant a jejich porovnání pomůže v praxi při rozhodování mezi konstrukčními variantami v prvotní fázi návrhu stavby.

1. Postup výpočtu

Jsou zde vypsány nejdůležitější body postupu:

- Výběr nejdůležitějších detailů a návrh konstrukčních variant
- Návrh materiálů a skladby konstrukcí (U)
- Rozměry výpočetního modelu a určení okrajových podmínek
- Výpočet 2D teplotního pole ve variantě pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla a pro výpočet nejnižší povrchové teploty
- Porovnání a vyhodnocení variant na základě vypočtených hodnot

2. Popis vybraných detailů

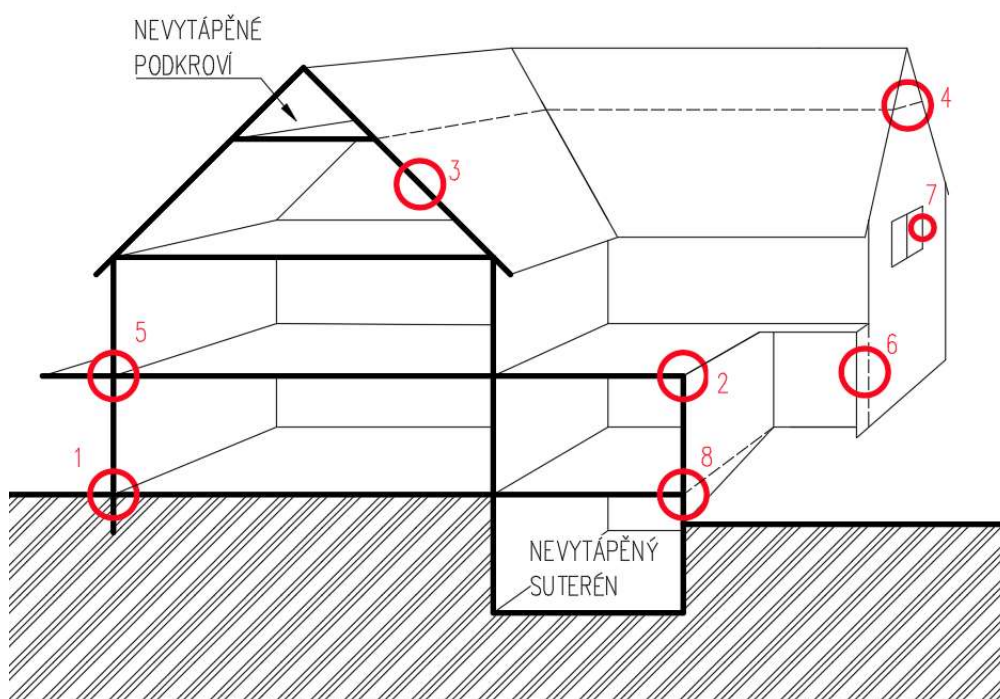
Byly vybrány nejdůležitější detaily pro rodinné i bytové domy.

V první řadě jsou vybrány detaily, které se nachází u každé budovy – základ a ostění okna (**detail 1 a 7**).

Další detaily se týkají napojení střechy na obvodovou stěnu (**detaily 2 a 3**) a detail napojení dřevěného stropu na štítovou stěnu (**detail 4**).

Dále byly vybrány detaily, které se nevyskytují u každé budovy, ale jsou kritické z hlediska možného rizika vzniku plísní a většího úniku tepla. Jedná se o napojení stropu na obvodovou stěnu mezi vytápěným prostorem a suterénem (**detail 8**), detail nároží obvodové stěny s žebrem (**detail 6**) a detail balkonu (**detail 5**).

Na následujícím obrázku je budova, kde jsou znázorněny vybrané detaily.



obr. 1 - Zobrazení řešených detailů

- 1 - Detail základu
- 2 - Detail napojení ploché střechy na obvodovou stěnu
- 3 - Detail napojení šikmé střechy na štítovou stěnu
- 4 - Detail napojení stropu na štítovou stěnu
- 5 - Detail balkonu
- 6 - Detail nároží obvodové stěny s žebrem
- 7 - Detail ostění okna
- 8 - Detail napojení stropu na obvodovou stěnu mezi vytápěným prostorem a suterénem

3. Výpočet 2D teplotního pole

3.1. Popis materiálů

Nejprve si musíme navrhnout základní materiálové řešení detailů. V jednotlivých konstrukčních variantách se můžou materiály měnit, odlišnosti budou popsány u každého detailu zvlášť.

Základní materiálové řešení:

- Obvodové zdivo z vápenopískových cihel tl.200 mm
- Stropní konstrukce z železobetonu tl. 200 mm
- Železobetonová deska podlahy na zemině, a ŽB základ (případně základová deska)
- Stropní konstrukce podkroví je tvořena kleštinami 40x200 mm
- Nosnou konstrukci šikmé střechy tvoří krokve 40x220 mm

U každého materiálu nás zajímá jeho návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_w , kterou potřebujeme pro modelování 2D teplotního pole a pro výpočet součinitele prostupu tepla.

V následující tabulce je přehled použitých materiálů a jejich hodnoty deklarovaného a návrhového součinitele tepelné vodivosti.

Tabulka 1 – součinitel tepelné vodivosti materiálů

Materiál	Deklarovaný součinitel tepelné vodivosti λ_D [W/m·K]	Návrhový součinitel tepelné vodivosti λ_w [W/m·K]
Vápenopískové cihly SENDWIX 14DF-LP	0,980	1,030¹
Vápenopískové cihly SENDWIX 5DF-LD	0,820	0,860¹
Zakládací izolační prvek 14DF-D THERM	0,330	0,350¹
Pórobetonové cihly Ytong P2-500	0,130	0,137
Pěnové sklo – desky FOAMGLAS PERINSUL	0,050	0,050
Štěrka z pěnového skla (zhutnění 1:1,3)	-	0,080²
Tepelná izolace EPS 100	0,037	0,037
Tepelná izolace EPS (spádové klíny)	0,037	0,039¹
Tepelná izolace EPS s grafitem	0,032	0,033
Tepelná izolace XPS	0,035	0,037¹
Minerální izolace ze skelných vláken	0,033	0,036

Návrhový součinitel tepelné vodivosti je u většiny izolačních materiálů převzat přímo z technických listů výrobků. [1; 3; 4; 5]

Poznámka1: U některých materiálů výrobce přímo neuvádí návrhovou hodnotu součinitele tepelné vodivosti. V těchto případech postupujeme tak, že zhoršíme hodnotu deklarovaného součinitele tepelné vodivosti o vlhkostní přírážku. U nenasákových materiálů zhoršíme hodnotu deklarovaného součinitele prostupu tepla o 5 % a u nasákových materiálů o 10 %. [15]

Poznámka 2: Výrobce pěnového skla udává návrhovou hodnotu součinitele tepelné vodivosti. [4]

Desky z pěnového skla mají uzavřenou strukturu pórů, v tomto případě jsou prakticky nenasákové. Proto se návrhový součinitel tepelné vodivosti rovná deklarovanému.

Na první pohled se může zdát matoucí, že u tepelné izolace EPS 100 je deklarovaný a návrhový součinitel tepelné vodivosti stejný, i když se jedná o nasákový materiál. Hodnoty jsou převzaty z technického listu výrobku, kde jsou tato čísla stejná. [1]

Musíme si také uvědomit, že pěnové sklo a má nižší pevnost než vápenopísková cihla. Při použití ve skutečné konstrukci by bylo nutné provést statické posouzení vhodnosti použití takového prvku. V následující tabulce je uvedeno porovnání pevností pěnového skla a pórobetonu s vápenopískovým zdívem. Pórobeton je zde také uveden, protože může v některých případech být nosnou součástí, ale většinou se používá pro méně zatížené oblasti.

Tabulka 2 - Charakteristické pevnosti vybraných materiálů

	Charakteristická pevnost v tlaku f_k [MPa]
Vápenopískové zdivo	12,34
Pěnové sklo	1,6
Zdivo z pórobetonu (Ytong)	1,92

Pevnost pěnového skla je asi 8x menší než pevnost vápenopískové cihly a pórobeton má asi 6x menší pevnost než vápenopískové zdivo. [2;3;5] Vzhledem k tomu, že neřešíme budovu jako celek, neprovádíme ani statické posouzení (jedná se hlavně o použití pěnového skla).

Byly použity také materiály, které se zadávaly z pomocného katalogu přímo v programu Area. Z katalogu získáme rovnou návrhovou hodnotu λ_u .

Tabulka 3 - Součinitel tepelné vodivosti z katalogu materiálů

Materiál	Návrhový součinitel tepelné vodivosti λ_u [W/m·K]
Železobeton	1,230
Dřevo měkké	0,180
OSB deska	0,130
Hlína suchá	0,700

Specifickým materiálem je **ISO nosník**, který je použit u konstrukce atiky a balkonu. Typ ISO nosníku a jeho vlastnosti jsou popsány u konkrétních detailů.

3.2. Návrh skladby konstrukcí

Skladbu konstrukce navrhujeme tak, aby výsledná navržená hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce byla menší než požadovaná hodnota dle ČSN 73 0540-2 [6]:

$$U \leq U_N$$

U_N ...požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla

U ... navržená hodnota součinitele prostupu tepla

Výpočet součinitele prostupu tepla dle ČSN 6946 [18]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$$R = \sum R_j = \sum \frac{d_j}{\lambda_j}$$

R_{si} [m²·K/W] odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

R_{se} [m²·K/W] odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

R [m²·K/W] tepelný odpor konstrukce

d_j [m] tloušťka j-té vrstvy konstrukce

λ_j [W/m·K] návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti j-té vrstvy

Okrajové podmínky jsou stanoveny v kapitole 3.3..

Ve výpočtu jsou uvažovány pouze materiály, které mají zásadní vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu. Například to jsou všechny tepelně izolační vrstvy, nosné konstrukce (zdivo, stropní desky, betonové desky na zemině, dřevěné konstrukce stropu a střechy) a zemina.

Ve výpočtu tedy byly zanedbány vrstvy jako např. hydroizolace, parozábrana, omítky, nášlapné vrstvy podlahy, vrstvy pod hydroizolací podlahy (ovlivněné vlhkostí), nebo vrstvy ve střešním plášti nad provětrávanou mezerou. Stejně zjednodušení platí při modelování pro výpočet 2D teplotního pole.

Normové hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 [6]

Tabulka 4 - Normové hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 [6]

Konstrukce	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	0,25 (těžká)	0,18-0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22-0,15
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38-0,25
Střecha plochá a šikmá do 45	0,24	0,16	0,15-0,10
Strop k nevytápěnému suterénu	0,60	0,40	0,30-0,20
Výplň otvoru ve vnější stěně z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,50	1,20	0,80-0,60

- Základní řešení návrhu skladby konstrukcí je navrhováno na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$.
- Pasivní řešení návrhu skladby konstrukcí je navrhováno na pasivní hodnotu součinitele prostupu tepla $U_{pas,20}$.

Příklad návrhu konstrukce stěny:

Ukážeme si návrh skladby obvodové stěny pro základní (nepasivní) řešení.

S1 (klasické řešení)

-vnější omítka*

-tepelná izolace EPS s grafitem $\lambda_u=0,033\text{W/m}\cdot\text{K}$

tl. 140 mm

-lepidlo (40 % plochy) *

-vápenopískové cihly na tenkovrstvou maltu $\lambda_u=1,03\text{W/m}\cdot\text{K}$

tl. 200 mm

-vnitřní omítka*

* zanedbatelné vrstvy konstrukce z hlediska vlivu na hodnotu součinitele prostupu tepla, nejsou zahrnuty do výpočtu.

Do výpočtu použijeme pouze vrstvu zdiva a izolace.

$$R = \sum R_j = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} = \frac{0,14}{0,033} + \frac{0,2}{1,03} = 4,437 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + 4,437 + 0,04} = 0,22 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Provedeme ověření, že vypočtená hodnota vyhoví požadavku:

$$U_N = U_{rec,20} = 0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ (viz tab. 4)}$$

$$U \leq U_N$$

$$0,22 \leq 0,25 \text{ ...Skladba konstrukce vyhoví požadavku.}$$

Pro rychlejší výpočet všech konstrukcí byl použit program Teplo 2017, kde jsou konstrukce počítány podle stejných vzorců. Jednotlivé skladby všech konstrukcí příslušného řešení detailu jsou uvedeny v katalogu detailů (Příloha 1) i s příslušnou hodnotou U .

Izolace obvodové zdi a soklu je kotvena izolačními hmoždinkami se zápusťnou montáží, nebo je izolace lepena. Ve výpočtu neuvažujeme korekci vlivem tepelných mostů kotvením.

V následující tabulce je přehled všech konstrukcí a jejich navržená hodnota U v porovnání s požadovanou hodnotou U_N .

Tabulka 5 - Přehled navržených hodnot konstrukcí

Označení konstrukce	Navržená hodnota součinitele tepelné vodivosti U [W/m ² ·K]	Požadovaná hodnota součinitele tepelné vodivosti U_N [W/m ² ·K]
KLASICKÉ ŘEŠENÍ		
S1	0,22	0,25
S2	0,24	0,25
P1	0,29	0,30
P5	0,33	0,40
S6	0,48	0,50
C1	0,16	0,16
C3	0,15	0,16
C5*	0,14	0,16
PASIVNÍ ŘEŠENÍ		
S3	0,16	0,18
S4	0,17	0,18
S5	0,13	0,18
S7	0,32	0,38
P2	0,20	0,22
P3	0,19	0,22
P4	0,20	0,22
P6	0,28	0,30
C2	0,14	0,15
C4	0,14	0,15
C6*	0,13	0,15

*U nevytápěného podkroví (konstrukce C5, C6) je uvažováno, že vnitřní návrhová teplota je stejná jako venkovní teplota -13°C. Tato konstrukce tím pádem musí splňovat požadovanou hodnotu tepelné vodivosti pro ploché střechy.

Nehomogenní vrstvy (např.: izolace s procházejícími dřevěnými prvky) jsou převedeny na homogenní vrstvu s ekvivalentní hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ_{ekv} . Hodnota ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti je vypočítána pomocným výpočtem v programu Teplo 2017, kde je výpočet proveden v souladu s ČSN EN ISO 6946 čl. 6.2.. V ostatních případech se hodnota vypočítala zjednodušeně pomocí poměru objemů prvků ve vymezeném úseku, takovýto výpočet je uveden přímo u popisu konkrétního detailu.

3.3. Stanovení okrajových podmínek

Hodnoty vnitřní a vnější teploty a odpory při přestupu tepla jsou převzaty z tabulek uvedené v normě ČSN 73 0540-3 [7]

Tabulka 6 - Návrhové teploty vnějšího vzduchu dle ČSN 73 0540-3 (tabulka H.2)

Místo	Nadmořská výška h [m.n.m.]	Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období ϑ_e [°C]
Praha	181	-13

Tabulka 7 - Návrhová vnitřní teplota v zimním období a návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu dle ČSN 73 0540-3 (tabulka I.1)

Druh místnosti s požadovaným stavem vnitřního prostředí	Návrhová vnitřní teplota v zimním období ϑ_i [°C]	Relativní vlhkost vnitřního vzduchu φ_i [%]
1 Obytné budovy		
1.1 Trvale užívané		
Obývací místnosti	20	50
13 Různé místnosti		
Garáže a jiné místnosti chráněné proti mrazu	5	80

Tabulka 8 - Návrhové hodnoty odporu při přestupu tepla na vnější straně konstrukce a na vnitřní straně bez povrchové kondenzace dle ČSN 730540-3 (tabulka J.1)

Klimatické období	Druh konstrukce a povrch konstrukce	Tvar a orientace povrchu konstrukce	Pro výpočty šíření vlhkosti a rizika růstů plísní (minimální vnitřní povrchová teplota)	Pro výpočty šíření tepla (lineární činitel prostupu tepla)	
Zimní	Vnější povrch stavební konstrukce a výplně otvoru	-	0,04	0,04	
	Vnitřní povrch stavební konstrukce	Svislý povrch	0,25	0,13	
		Vodorovný povrch Při tepelném toku	Zdola nahoru	0,25	0,10
			Shora dolů	0,25	0,17
Vnitřní povrch výplně otvoru	Svislý povrch, nebo povrch se sklonem od 90° do 60° od vodorovné roviny		0,13	0,13	

3.4. Modelování detailu pro výpočet 2D teplotního pole

V následujících kapitolách je popsán obecný postup výpočtu, jako konkrétní řešení je uveden detail atiky (2.1.). Postupy výpočtu a modelování detailu jsou uvedeny v ČSN EN ISO 10211:2017[9]

3.4.1. Materiály

Vymodelovaný detail se skládá z homogenních obdélníků s hodnotou λ_u . Při výpočtu se používá návrhová hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_u (viz tabulka 1). Jsou modelovány pouze materiály, které mají zásadní vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu. Například to jsou všechny tepelně izolační vrstvy, nosné konstrukce (zdivo, stropní desky, betonové desky na zemině, dřevěné konstrukce stropu a střechy) a zemina.

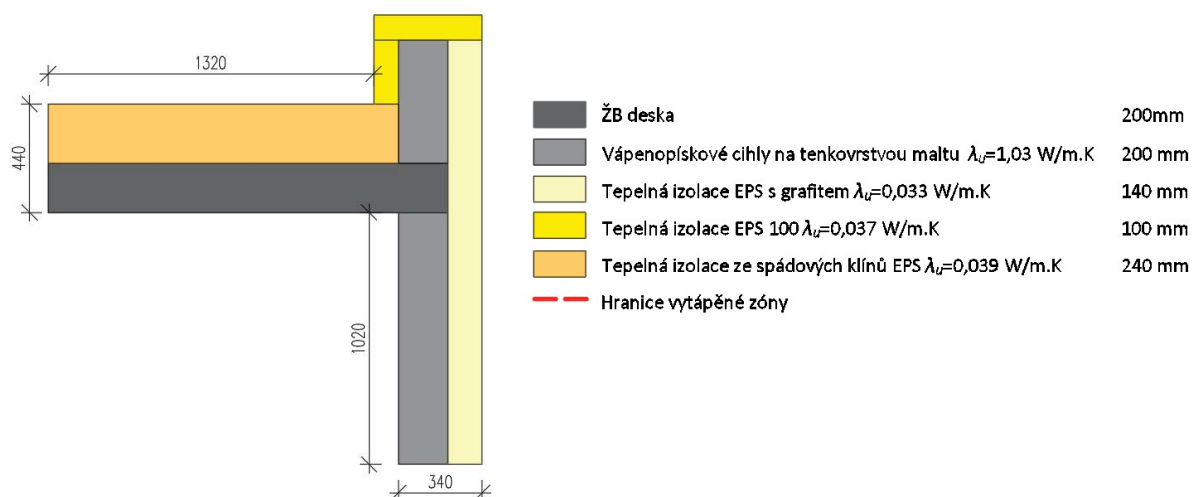
Při výpočtu tedy byly zanedbány vrstvy jako např. hydroizolace, parozábrana, omítky, nášlapné vrstvy podlahy, vrstvy pod hydroizolací podlahy (ovlivněné vlhkostí), nebo vrstvy se střešním pláští nad provětrávanou mezerou.

3.4.2. Rozměry výpočetního modelu

Řezové roviny jsou umístěny ve vzdálenosti d_{min} od styku s jinou konstrukcí.

d_{min} je větší z hodnot (1 m; trojnásobek tloušťky přilehlého prvku) [9]

Pro příklad je zde uvedeno modelování na detailu 2.1 (detail atiky)



obr. 2 - Rozměry detailu 2.1

Tloušťka stěny je 340 mm

$$d_{min,1}=3 \cdot 340=1020 \text{ mm}$$

$$d_{min,2}=1000 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d_{min}=1020 \text{ mm}} \text{ (větší z hodnot)}$$

Tloušťka stropní desky s izolací je 440 mm

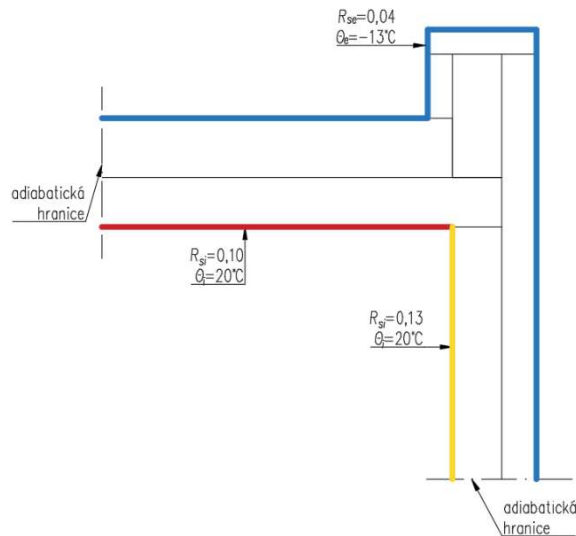
$$d_{min,1}=3 \cdot 440=1320 \text{ mm}$$

$$d_{min,2}=1000 \text{ mm}$$

$$\mathbf{d_{min}=1320 \text{ mm}} \text{ (větší z hodnot)}$$

3.4.3. Okrajové podmínky pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla

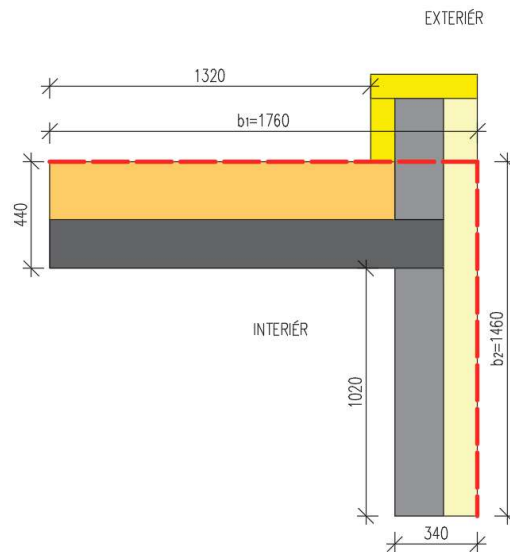
Dle kapitoly 3.3. přiřadíme každému povrchu teplotu a odpor při přestupu tepla. V místě roviny řezu se nachází adiabatická hranice, ke které nepřičítáme žádné okrajové podmínky.



obr. 3 - Okrajové podmínky pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla detailu 2.1.

3.4.4. Vedení hranice vytápěné zóny

Hranici vytápěné zóny si potřebujeme určit pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla. Při výpočtech energetické náročnosti budovy se do výpočtů používají vnější rozměry konstrukcí, proto i my používáme vnější rozměry, aby tyto detaily mohly být aplikovatelné v praxi.



obr. 4 - Zobrazení vedení hranice vytápěné zóny detailu 2.1.

3.4.5. Výpočet lineárního činitele prostupu tepla

Postup výpočtu je převzat z normy ČSN EN ISO 10211:2017. [9]

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot b_j$$

L_{2D} [W/m·K] je tepelná propustnost získaná z 2D výpočtu konstrukce oddělující dvě prostředí. Hodnotu získáme pomocí výpočtu v programu Area 2017.

U_j [W/m²·K] součinitel tepelné propustnosti j-té 1D konstrukce oddělující dvě prostředí

b_j [m] délka konstrukce na kterou se vztahuje hodnota U_j

Normový požadavek

Vypočtená hodnota lineárního činitele prostupu tepla musí splňovat požadovanou hodnotu ψ_N , ale pro správný návrh by měl detail splňovat doporučenou hodnotu dle typu budovy.

Tabulka 9 - Požadované a doporučené hodnoty lineárního činitele prostupu tepla tepelných vazeb mezi konstrukcemi dle ČSN 73 0540-2 (tabulka 6) [6]

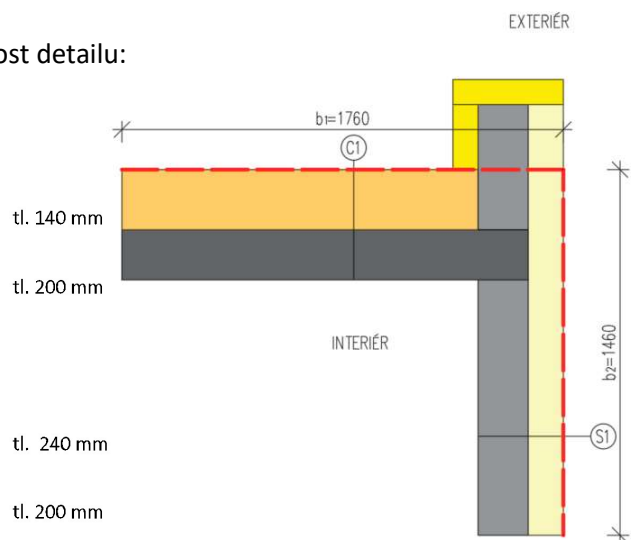
Typ lineární vazby	Lineární činitel prostupu tepla [W/(m·K)]		
	Požadované hodnoty ψ_N	Doporučené hodnoty ψ_{rec}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy ψ_{pas}
Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvoru (např. styk se základem, stropem, střechou, ...)	0,20	0,10	0,05
Vnější stěna navazující na výplň otvoru, např. na okno, dveře, vrata a část prosklené stěny v parapetu, bočním ostění a v nadpraží	0,10	0,03	0,01

Vzorový výpočet detailu 2.1.:

Po zadání modelu detailu do programu Area 2017 včetně okrajových podmínek se automaticky vygeneruje výpočetní síť a provede se výpočet.

Z protokolu o výpočtu se zjistí celková propustnost detailu:

- $L=0,65 \text{ W/m}\cdot\text{K}$**
- S1
 -vnější omítka*
 -tepelná izolace EPS s grafitem $\lambda u=0,033 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 -lepidlo (40 % plochy) *
 -vápenopískové cihly na tenkovrstvou maltu $\lambda u=1,03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 -vnitřní omítka*
 $U=0,217 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- C1
 -hydroizolace*
 -tepelná izolace EPS $\lambda u=0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 -parozábrana*
 -ŽB deska
 -vnitřní omítka*
 $U=0,155 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$



obr. 5 - Rozměry a vlastnosti detailu 2.1

Označení konstrukce	Součinitel prostupu tepla konstrukce oddělující interiér a exteriér U_j [W/m ² ·K]	Délka konstrukce, na kterou se vztahuje $U_j - b_j$ [m]
C1	0,155	1,76
S1	0,217	1,46

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot b_j = 0,65 - 0,155 \cdot 1,76 - 0,217 \cdot 1,46 = \mathbf{0,060 \text{ W/m}\cdot\text{K}}$$

Doporučená hodnota:

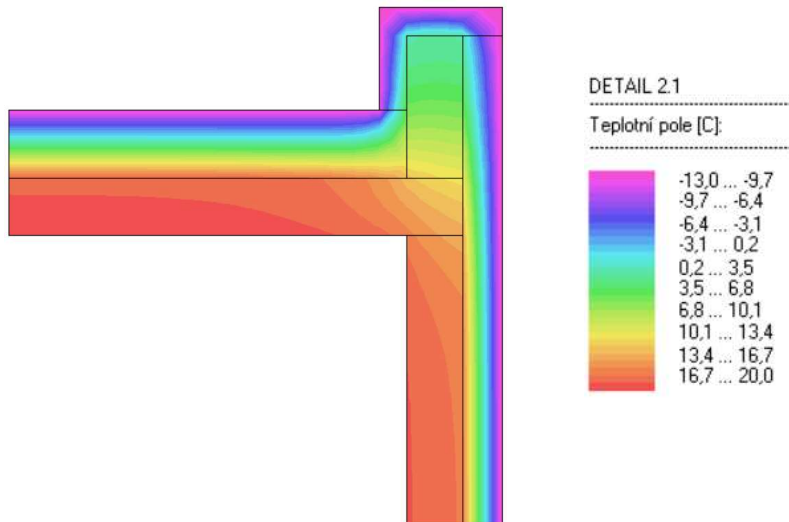
$$\psi_{rec}=0,10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$\psi \leq \psi_{rec}$$

$$0,060 \leq 0,10 \dots \text{navržený detail vyhovuje}$$

3.4.6. 2D teplotní pole

Grafickým výstupem tohoto výpočetního modelu pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla je 2D teplotní pole, které zobrazuje průběh teplot celým detailem. Z teplotního pole můžeme snadno vysledovat, jak detailem uniká teplo a jaké místo je nejrizikovější z hlediska nejnižší povrchové teploty (riziko růstu plísní). U všech detailů je teplotní pole vykresleno jednotně, pro vnitřní povrch je zadána hodnota 20°C a pro venkovní povrch -13°C.



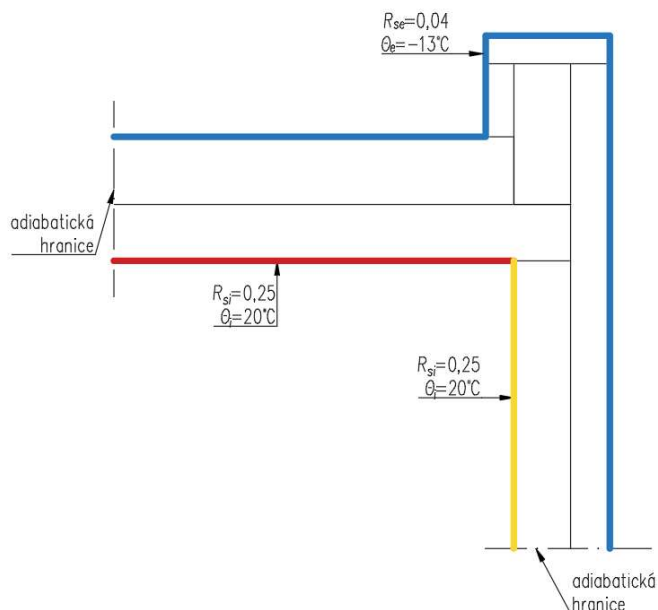
obr. 6 - Teplotní pole detailu 2.1.

3.4.7. Výpočet minimální povrchové teploty

Minimální vnitřní povrchová teplota musí být vyšší než požadovaná hodnota, která odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro návrhovou hodnotu relativní vlhkosti vzduchu 50 % (viz tab.10). V případě nesplnění podmínky by vznikalo riziko vzniku plísní.

Výpočet je proveden obdobným způsobem, jako se počítal lineární činitel prostupu tepla. Do modelu zavedeme jiné okrajové podmínky, určené právě pro výpočet teploty (viz tab. 8).

3.4.8. Okrajové podmínky pro výpočet minimální povrchové teploty



obr. 7 - Okrajové podmínky pro výpočet minimální povrchové teploty detailu 2.1.

Normový požadavek

Konstrukce a styky konstrukcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vzduchu $\phi_i \leq 60\%$ musí v zimním období za normových podmínek vykazovat v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} splňoval podmínku: [6]

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

$f_{Rsi,N}$ požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu, stanovená ze vztahu:

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

Tabulka 10 - Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$ pro návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\phi_i=50\%$ dle ČSN 73 0540-2[6]

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu ϑ_{ai} [°C]	Návrhová venkovní teplota ϑ_e [°C]
		-13
		Teplota odpovídající kritickému teplotnímu faktoru vnitřního povrchu $f_{Rsi,cr}$
Stavební konstrukce	20	11,68
Výplň otvoru	20	8,35

Vzorový výpočet:

Po zadání modelu detailu do programu Area 2017 včetně okrajových podmínek se automaticky vygeneruje výpočetní síť a provede se výpočet.

Z protokolu o výpočtu se zjistí přímo minimální vnitřní povrchová teplota:

$$\vartheta_{s,min} = 15,56 \text{ °C}$$

Normový požadavek:

$$\vartheta_{pož} = 11,68 \text{ °C}$$

$$\vartheta_{s,min} \geq \vartheta_{pož}$$

$$15,56 \geq 11,68$$

Navržený detail vyhovuje normovému požadavku na minimální vnitřní povrchovou teplotu.

3.4.9. Návrh revize normy ČSN 730540–2

V současné době se projednává návrh revize normy ČSN 730540–2. V nové revizi budou pozměněny požadované hodnoty. Tuto informaci mám ověřenou panem Ing. Jiřím Novákem.

Následující hodnoty a vzorce jsou ověřené, ale je tu i malá šance, že nová verze návrhu revize normy bude pozměněna.

LINEÁRNÍ ČINITEL PROSTUPU TEPLA [19]

Typ lineární vazby	Lineární činitel prostupu tepla [W/(m·K)]	
	Požadované hodnoty ψ_N	Doporučené hodnoty ψ_{rec}
Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvoru (např. styk se základem, stropem, střechou, ...)	0,10	0,05
Vnější stěna navazující na výplň otvoru, např. na okno, dveře, vrata a část prosklené stěny v parapetu, bočním ostění a v nadpraží	0,05	0,01

MINIMÁLNÍ VNITŘNÍ POVRCHOVÁ TEPLOTA [19]

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai,j}}{\theta_{ai,j} - \theta_{ex,j}} \cdot \frac{1}{1,1 - \frac{17,269}{\ln\left(\frac{\phi_{i,j}}{\phi_{si,cr}}\right)}}$$

$\theta_{ai,j}$ návrhová teplota vnitřního vzduchu

$\theta_{ex,j}$ průměrná teplota prostředí přilehlého k vnější straně konstrukce v j-tém měsíci

ϕ_j průměrná relativní vlhkost vnitřního vzduchu (v našem případě 20%)

$\phi_{si,cr}$ kritická vnitřní povrchová vlhkost, pro stavební konstrukce to je 80% (riziko vzniku plísní)

Průměrné teploty venkovního prostředí převzaty z údajů ČHMÚ. [20]

Tabulka 11 - Měsíční průměrné hodnoty teplot a kritického teplotního faktoru

Měsíc	θ_{ai}	θ_{ex}	$f_{Rsi,cr}$
1	20	-2,4	0,671
2	20	-0,9	0,647
3	20	3,0	0,566
4	20	7,7	0,400
5	20	12,7	-0,011
6	20	15,9	-0,800
7	20	17,5	-1,952
8	20	17,0	-1,460
9	20	13,3	-0,102
10	20	8,3	0,369
11	20	2,9	0,568
12	20	-0,6	0,642

Maximální teplotní faktor vychází pro měsíc leden. Z této hodnoty se vypočítá odpovídající teplota.

$$\theta_{si} = \theta_i - (1 - f_{RSi,cr}) \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_{si} = 20 - (1 - 0,671) \cdot (20 - (-2,4))$$

$$\theta_{si} = \mathbf{12,62\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

4. Popis jednotlivých detailů

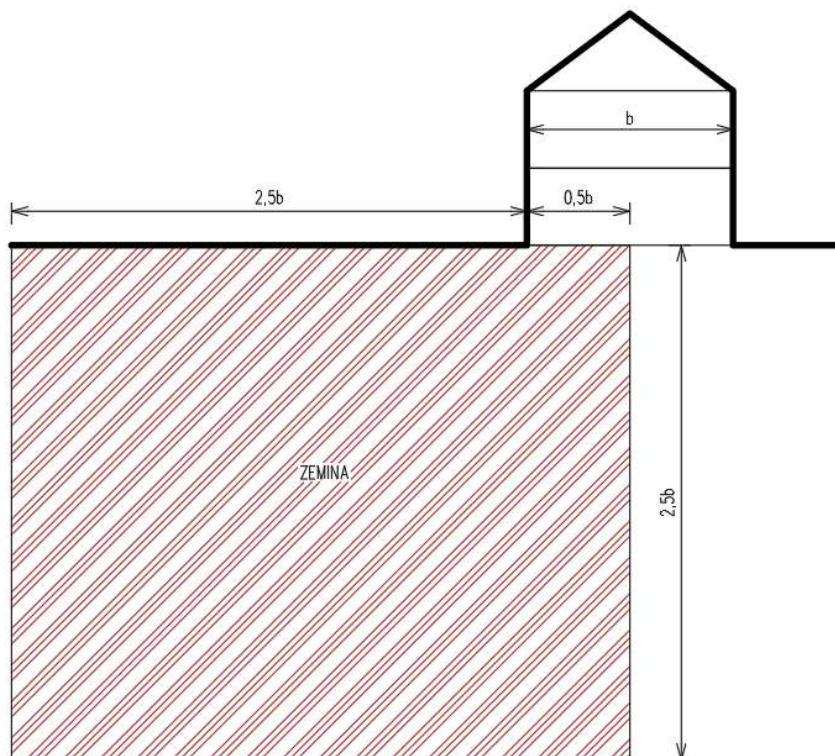
V této kapitole jsou uvedeny jednotlivé detaily a jejich varianty. Také zde jsou uvedeny případné změny ve výpočtu oproti postupu uvedenému v kapitole 2.4.. Na závěr každého detailu je uveden graf s porovnáním sledovaných hodnot a následné vyhodnocení a porovnání variant.

4.1. Detail 1

4.1.1. Výpočet

Výpočet detailu základu je odlišný. Postup výpočtu je převzat z ČSN EN ISO 10211:2017. [9; 10]

Na rozdíl od ostatních detailů je třeba navíc vymodelovat velké množství zeminy viz obr.8.



obr. 8 - Rozměry vymodelované zeminy

Jelikož nepočítáme s konkrétní budovou, tak neznáme rozměr podlahy na terénu. To znamená, že můžeme uvažovat šířku podlahy $b=8$ m.

$$0,5b=4 \text{ m}$$

$$2,5b=20 \text{ m}$$

Výpočet lineárního činitele prostupu tepla u styku stěna/podlaha:

Hodnotu vypočítáme pomocí vzorce [9]:

$$\psi = L_{2D} - h_w \cdot U_w - L_{2D,a}$$

L_{2D} [W/m·K] Celková tepelná propustnost detailu určená 2D výpočtem

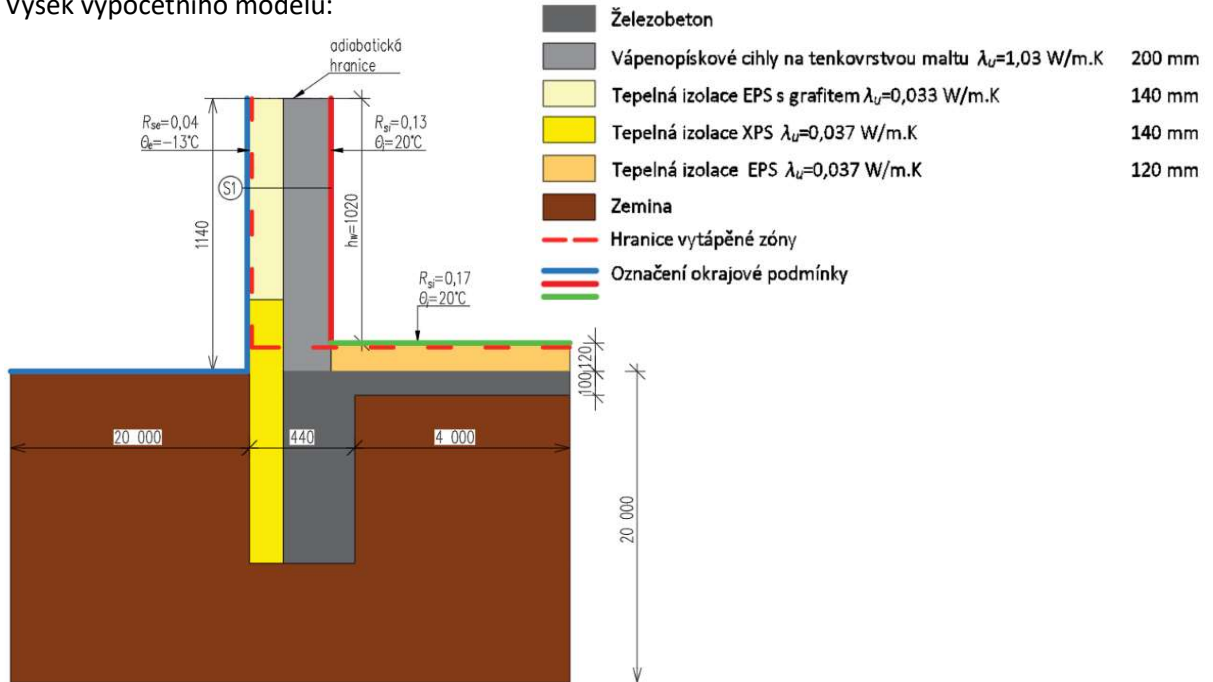
$L_{2D,a}$ [W/m·K] Tepelná propustnost podlahou včetně vlivu zeminy určená 2D výpočtem

h_w [m] Výška stěny

U_w [W/m²·K] Součinitel prostupu tepla konstrukce stěny

Výpočet celkové tepelné propustnosti detailu L_{2D} :

Výsek výpočetního modelu:



obr. 9 - Výpočetní model pro zjištění celkové tepelné propustnosti detailu 1.1.

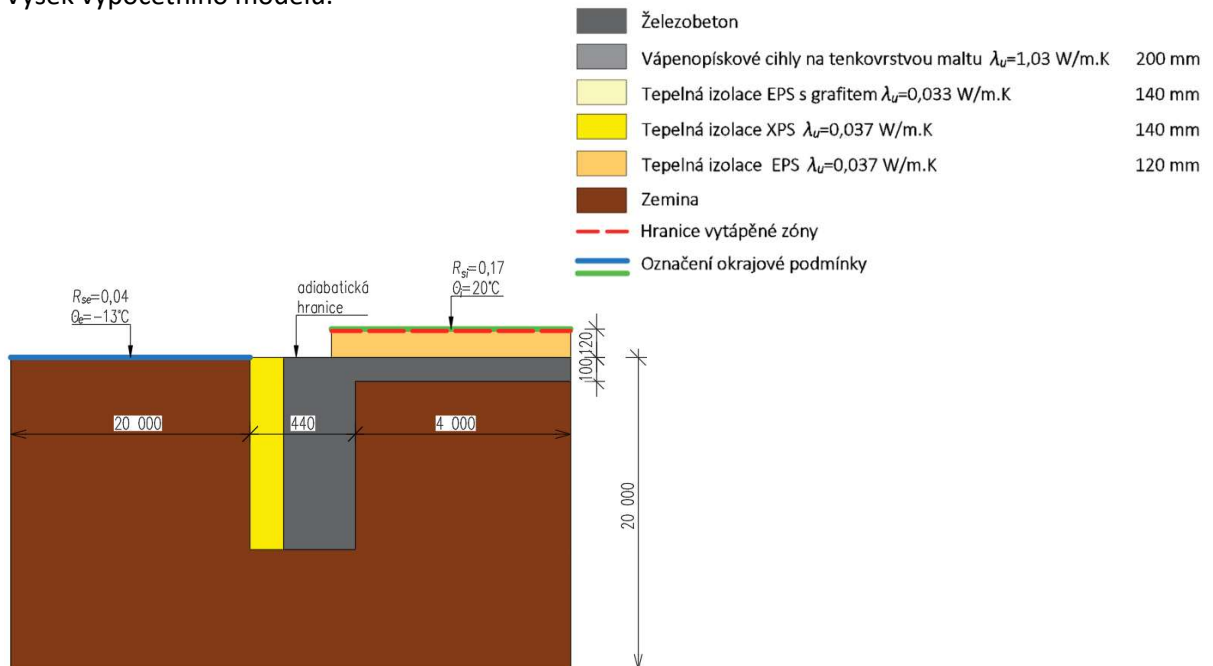
Po zadání modelu detailu do programu Area 2017 včetně okrajových podmínek se automaticky vygeneruje výpočetní síť a provede se výpočet. Jelikož detail má velké rozměry, je třeba zadat hustší síť. V našem případě je výpočetní síť 200 x 200 os. Při málo husté síti by došlo k nepřesnému výpočtu.

Z protokolu o výpočtu se zjistí celková tepelná propustnost detailu L_{2D} .

$$L_{2D}=0,769 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Výpočet tepelné propustnosti podlahou včetně vlivu zeminy $L_{2D,a}$:

Výsek výpočetního modelu:



obr. 10 - Výpočetní model pro zjištění tepelné propustnosti podlahou včetně vlivu zeminy detailu 1.1.

Výpočtem v programu Area zjistíme hodnotu $L_{2D,a}$:

$$L_{2D,a}=0,438 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Označení konstrukce	Součinitel prostupu tepla konstrukce stěny U_w [W/m ² ·K]	Výška stěny určená z hranice vytápěné zóny h_w [m]
S1	0,217	1,02

Pro zjednodušení se uvažuje, že skladba S1 je po celé výšce stěny. Vliv zanedbané části soklu je zohledněn v hodnotě lineárního činitele prostupu tepla ψ .

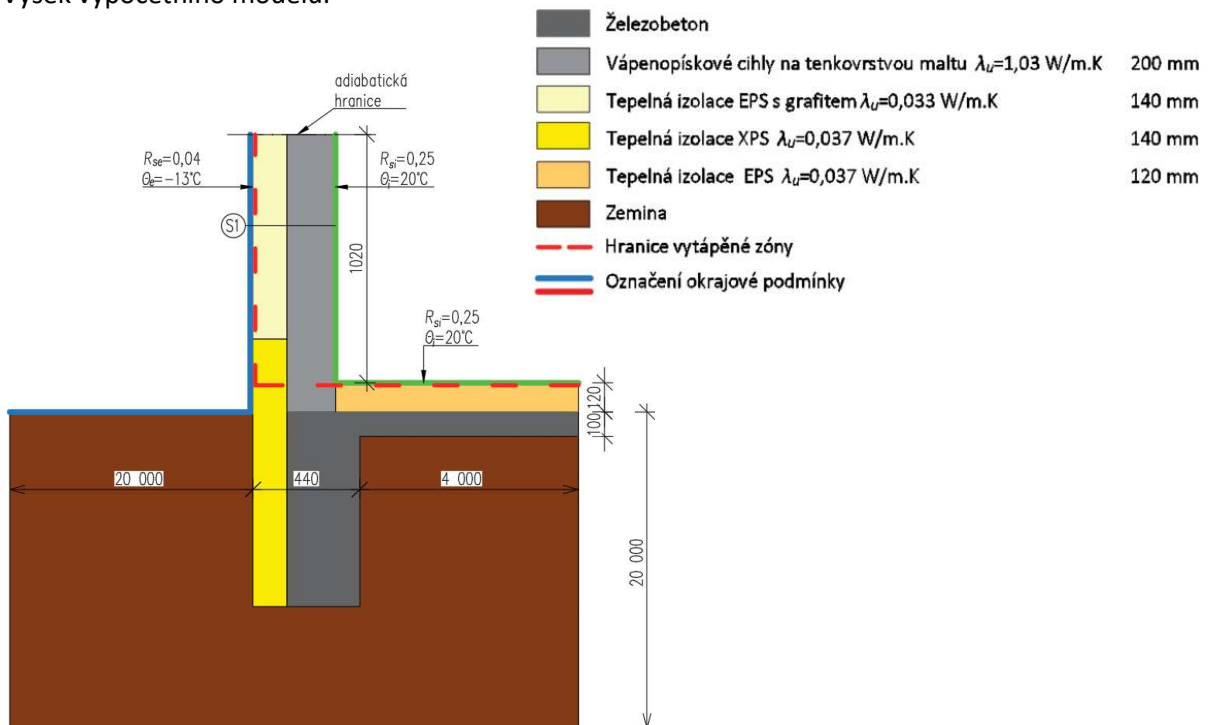
Výpočet lineárního činitele prostupu tepla detailu 1.1.

$$\psi = L_{2D} - h_w \cdot U_w - L_{2D,a} = 0,769 - 1,02 \cdot 0,217 - 0,438 = \mathbf{0,110 \text{ W/m}\cdot\text{K}}$$

Navržený detail vyhovuje normovému požadavku na lineární činitel prostupu tepla.

Výpočet minimální vnitřní povrchové teploty $\vartheta_{s,min}$.

Výsek výpočetního modelu:



obr. 11 - Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty detailu 1.1.

Výpočtem v programu Area 2017 byla zjištěna hodnota $\vartheta_{s,min}$.

$$\vartheta_{s,min}=\mathbf{13,73^{\circ}\text{C}}$$

Navržený detail vyhovuje normovému požadavku na minimální vnitřní povrchovou teplotu

$$\vartheta_{pož}=\mathbf{11,68^{\circ}\text{C}}$$

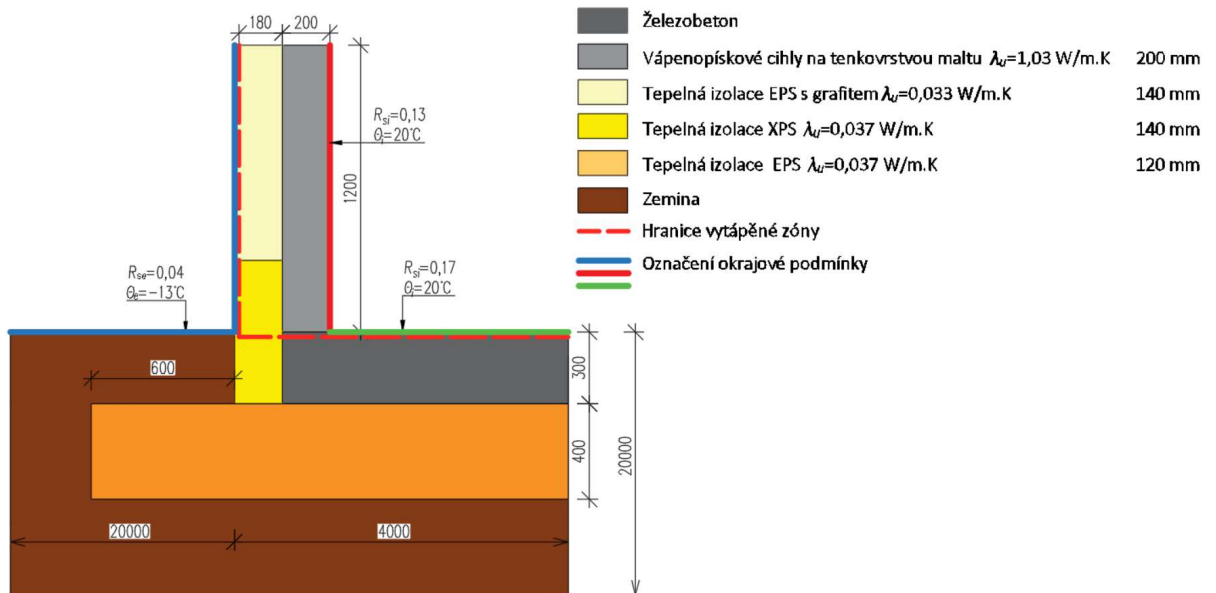
Upozornění pro použití výsledků pro výpočet tepelných ztrát objektu:

Jelikož jsme si při výpočtu zjednodušili stěnu, tak při výpočtu tepelných ztrát objektu, musí být obvodová stěna modelována také zjednodušeně po celé výšce bez soklu, protože vliv soklu je zahrnut v hodnotě lineárního činitele prostupu tepla ψ .

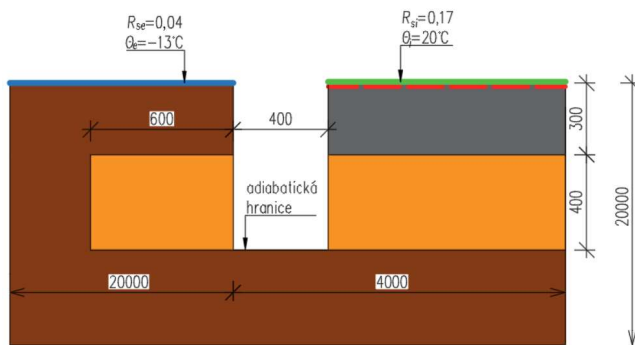
Založení domu na základové desce:

Jsou zde také uvedeny dvě varianty řešení založení na základové desce. Toto řešení má trochu odlišný výpočetní model oproti předchozím variantám. Postup výpočtu je stejný.

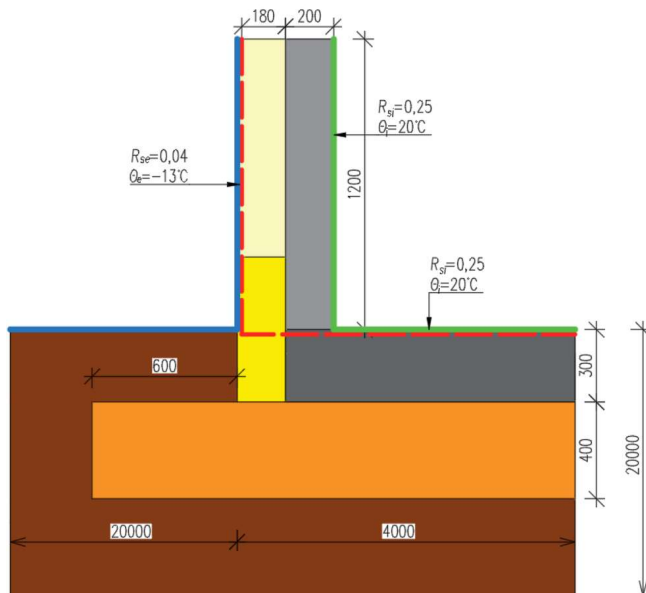
Varianty **1.5.** a **1.6.** nejsou založeny do nezámrzné hloubky, proto se zde navrhuje protimrazová ochrana, ta se řeší přesahem izolace základové desky vně budovy. [16]



obr. 12 - Výpočetní model pro zjištění celkové tepelné propustnosti detailu 1.5.



obr. 13 - Výpočetní model pro zjištění tepelné propustnosti podlahou včetně vlivu zeminy detailu 1.5.



obr. 14 - Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty detailu 1.5.

Vedení hranice vytápěné zóny:

U detailů se základovým pasem, kde je izolace podlahy nad ŽB deskou je hranice vytápěné zóny vedena souběžně s horní hranou izolace podlahy.

U detailů se základovou deskou je hranice vytápěné zóny vedena souběžně s horní hranou ŽB základové desky.

4.1.2. Zjednodušení

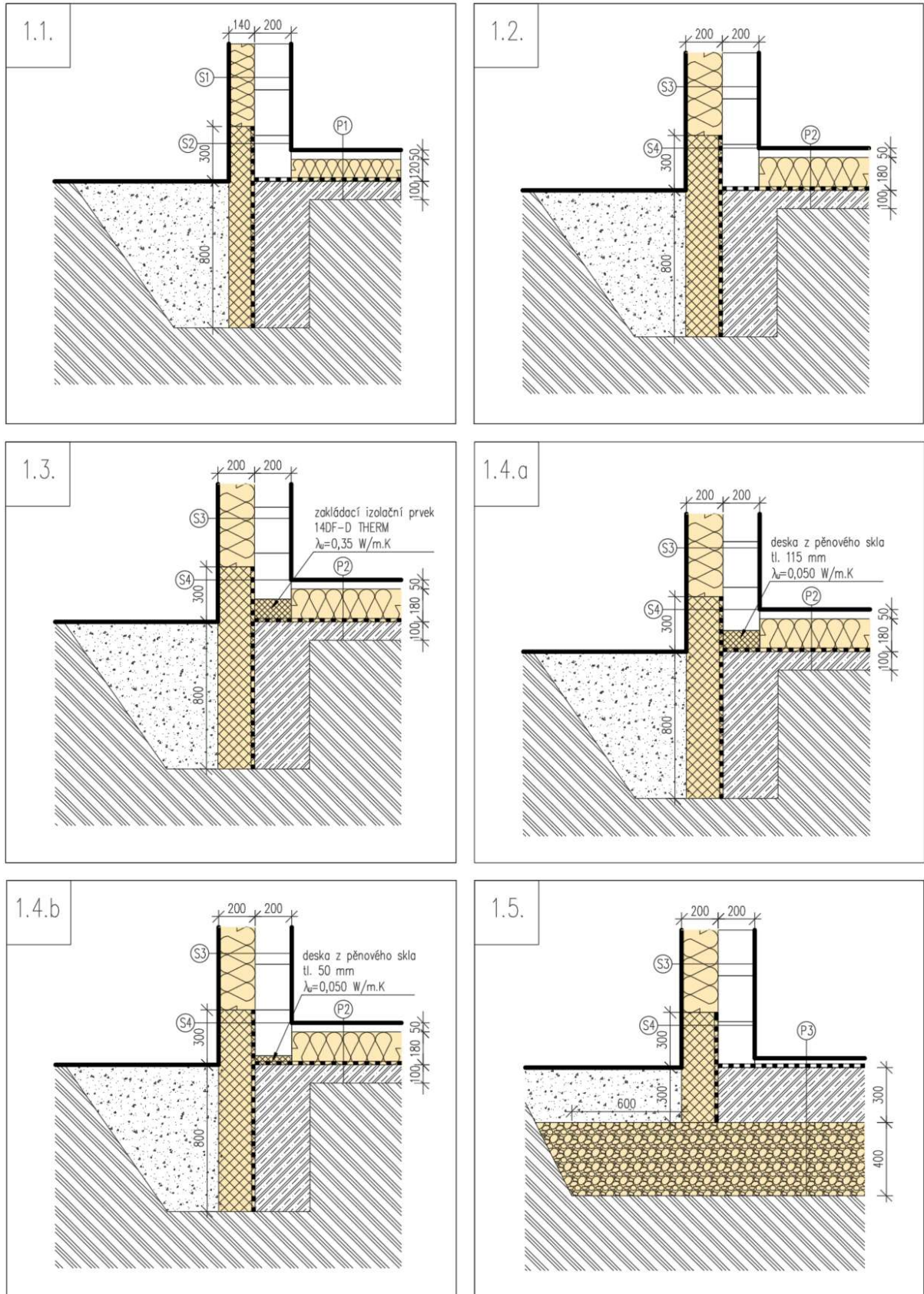
Ve výpočtu byly zanedbány vrstvy zeminy (okapový chodníček, nasypaná zemina, štěrkový podsyp)

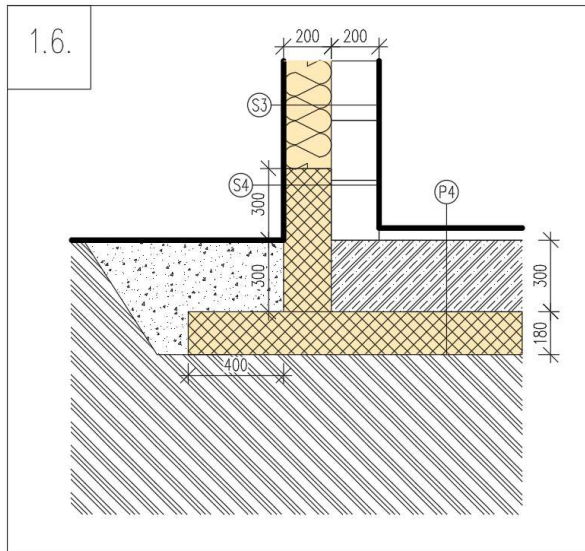
Dále byly zanedbány vrstvy omítek, lepidla a hydroizolace.

4.1.3. Konstrukční varianty

Detaily jsou zobrazeny velmi zjednodušeně. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.

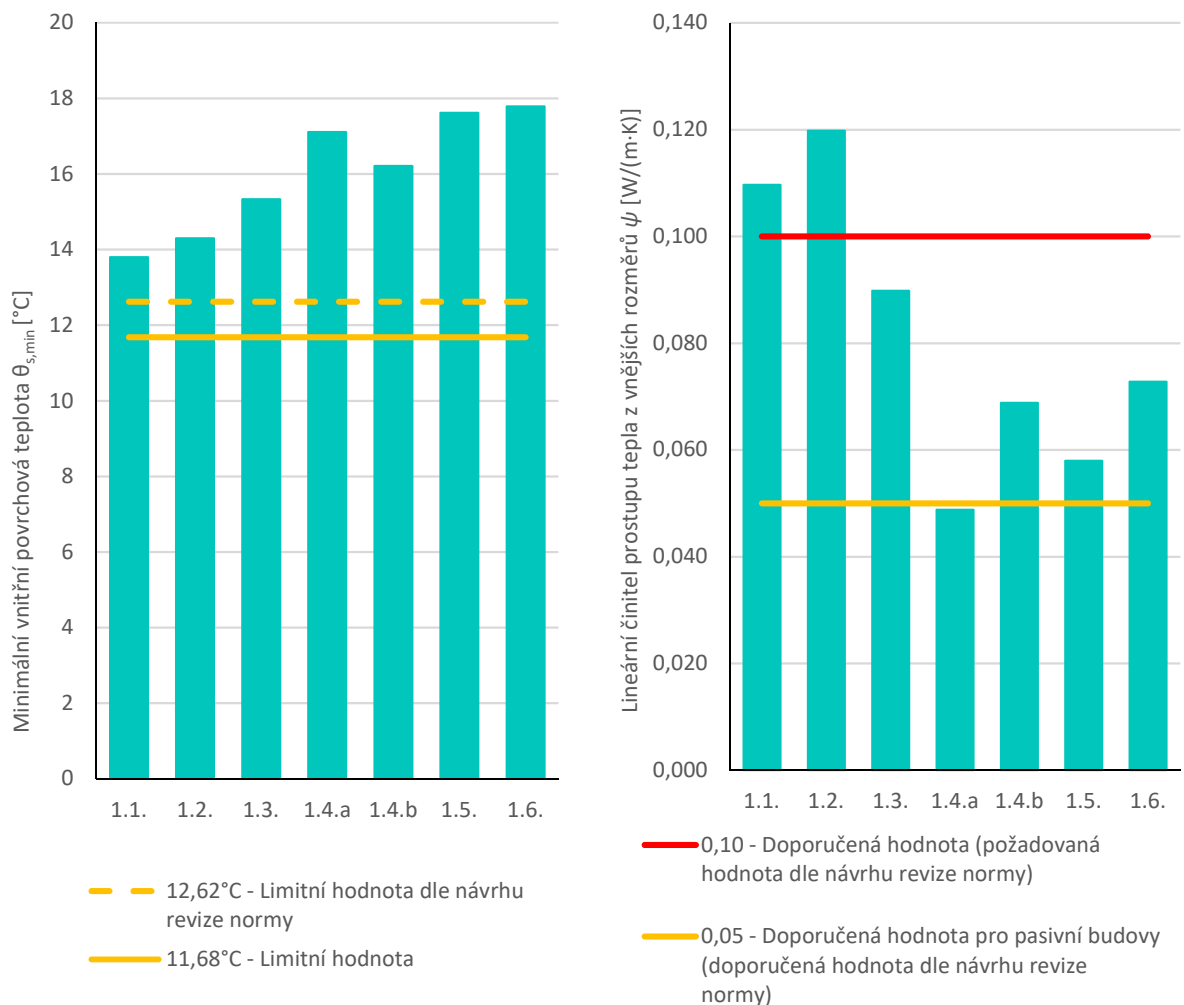
První varianta je klasické (nepasivní řešení). Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení.





4.1.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.15) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 15 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 1

4.1.5. Dílčí závěr

Všechny varianty splňují požadavek na minimální povrchovou teplotu.

Varianty **1.1. a 1.2.** jsou nejčastějším řešením detailu, kde je zateplena obvodová stěna a sokl až do úrovně základové spáry. Pak je zde použita izolace podlahy na ŽB desce. Z grafu je poznat, že toto řešení je není vhodné pro použití u pasivních budov. Řešení nesplňuje doporučenou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní ani pro klasické budovy. Takovéto řešení není vhodné, protože neřeší tepelný most v patě zdiva.

Ve variantě **1.3.** je první řada zdiva provedena ze zakládacího izolačního prvku. Izolační prvek pomáhá snížit tepelný most v patě zdiva. Hodnota lineárního činitele prostupu tepla je menší a splňuje doporučenou hodnotu pro nepasivní budovy. Toto řešení je lepší, než předchozí varianty, ale je vhodné především pro nepasivní budovy.

Ve variantě **1.4.a** jsou pro přerušování tepelného mostu použity desky z pěnového skla tl. 115 mm, umístěné jako první řada zdiva. Toto řešení je výrazně lepší oproti předchozím variantám a vyhovuje doporučené hodnotě lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy.

Variantou **1.4.b** je použití desky z pěnového skla tl. 50 mm (místo 115 mm). Tato varianta je také o poznání lepší než klasické řešení. Použití menší tloušťky pěnového skla je vhodné především pro nepasivní budovy, protože nevyhovuje doporučené hodnotě lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Nevýhodou použití pěnového skla je výrazně vyšší cena. Pěnové sklo má asi 8x nižší únosnost v tlaku, než mají vápenopískové cihly (viz kapitola 3.1). V případě použití pěnového skla je potřeba statické posouzení únosnosti pěnového skla v patě zdiva.

ZALOŽENÍ BUDOVY NA ZÁKLADOVÉ DESCE

Ve variantě **1.5.** je budova založena na základové desce bez ŽB pasů. Jedná se o progresivní řešení, pod základovou deskou je vrstva únosného štěrku z pěnového skla. Použití štěrku z pěnového skla může být problematické u budov se zvýšenou hladinou podzemní vody, kde může dojít k zaplavování štěrku vodou a zhoršení izolačních vlastností štěrkové vrstvy.

Dalším příkladem je varianta **1.6.** kde se jedná o založení základové desky na izolaci z XPS.

Výhodou těchto řešení je nepřerušovaná izolační obálka, čímž jsou přerušeny všechny tepelné mosty. Tyto varianty mají také dobré hodnoty lineárního činitele prostupu tepla, ale nesplňují doporučenou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy.

Tyto varianty mají rozdílnou geometrii výpočetního modelu ve srovnání s variantami založení na ŽB pasech. Hlavní rozdíl je v šířce modelované zeminy pod podlahou. Šířka zeminy pod podlahou je měřena už od vnějšího líce zdiva, zatímco u ŽB pasu je tato vzdálenost měřena od vnitřního líce základu (v katalogu detailů je toto znázorněno ve výpočetním modelu). Kvůli této geometrické odlišnosti se nedají tyto varianty založení porovnávat.

SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S JINÝMI PUBLIKACEMI

Naše výsledky jsem se snažila porovnávat s publikací **Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy** [16]. Bohužel výpočet detailů základů v této publikaci není dostatečně popsán, tak nejde snadno odhadnout, jak se při výpočtu postupovalo. Postup v této publikaci je v souladu s už neplatnou verzí normy ČSN EN 10211 [9], nová norma se u výpočtu základu liší od té staré.

Největším rozdílem je to, že při výpočtu propustnosti podlahou se nemodeloval základ pod uříznutou stěnou. U takového výpočtu vychází propustnost podlahou větší než v našem případě. Z toho vyplývá, že podle starého postupu by nám vycházela i výsledná hodnota lineárního činitele prostupu tepla o mnoho menší. Toto může být vysvětlením toho, proč jsou na první pohled naše výsledky řádově odlišné od těch ve zmiňované publikaci.

4.2. Detail 2.

4.2.1. Výpočet

Postup výpočtu je stejný jako u vzorového výpočtu v kapitole 3.

Varianta 2.5.

V této variantě je pro přerušení tepelného mostu použit ISO nosník a mezilehlý prostor je vyplněn EPS izolací. Potřebujeme zjistit ekvivalentní hodnotu tepelné vodivosti vrstvy s ISO nosníkem.

Byl vybrán ISO nosník Schöck Isokorb typ ABX R0:

Z technického listu výrobku známe ekvivalentní součinitel tepelné vodivosti, kde je zohledněna procházející výztuž izolací. [11]

$$\lambda_{ekv}=0,135 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

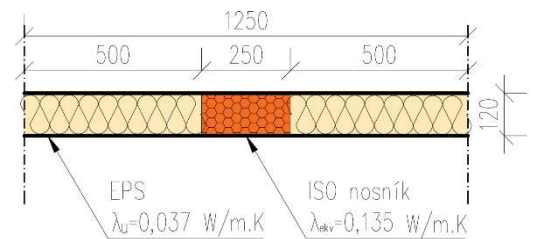
ISO nosníky jsou od sebe vzdáleny 1250 mm. Zbýlý prostor je vyplněn tepelnou izolací EPS 100.

$$\lambda_u=0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Výpočet ekvivalentní tepelné vodivosti se provede pomocí poměru ploch výseku konstrukce (obr.16)

$$\lambda_{ekv,1} = \frac{\lambda_u \cdot l_1 + \lambda_{ekv} \cdot l_2}{l_1 + l_2} = \frac{0,037 \cdot 1 + 0,135 \cdot 0,25}{1 + 0,25}$$

$$\lambda_{ekv,1} = 0,057 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$



obr. 16 - Geometrie ISO nosníku s EPS izolací

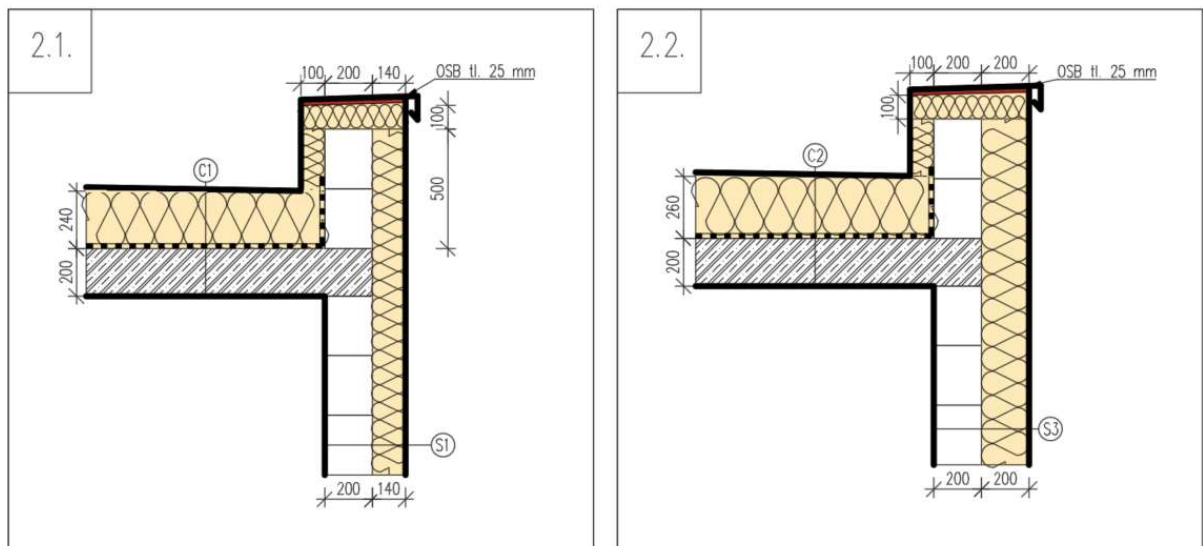
4.2.2. Zjednodušení

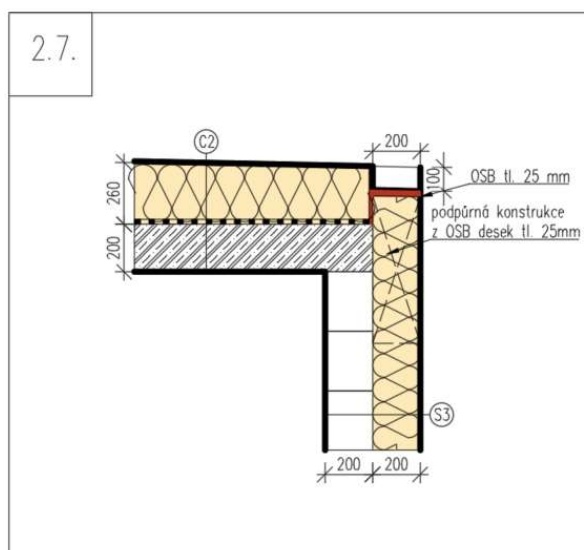
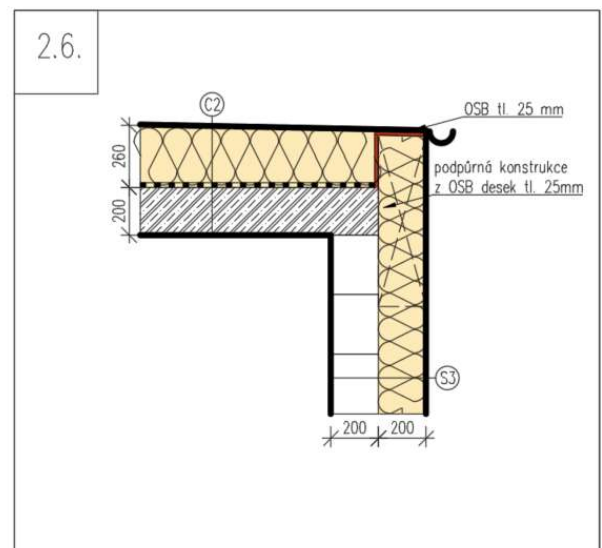
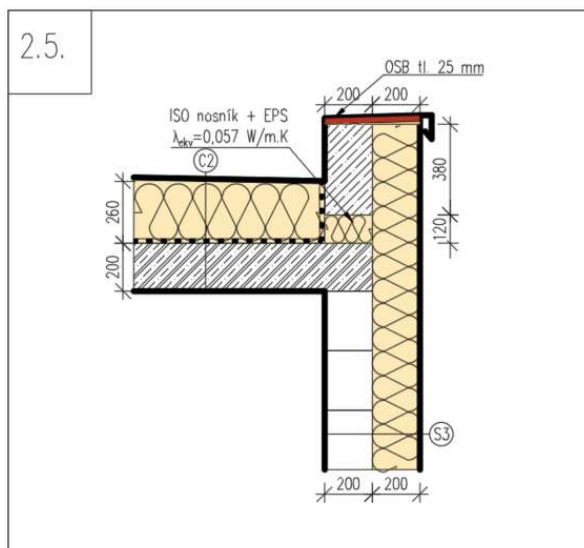
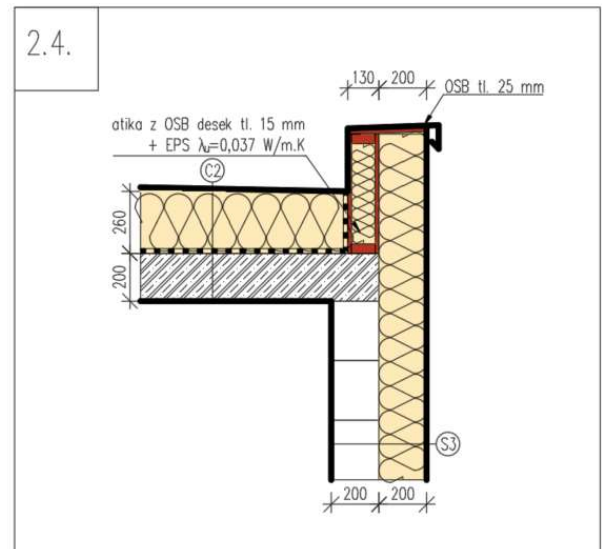
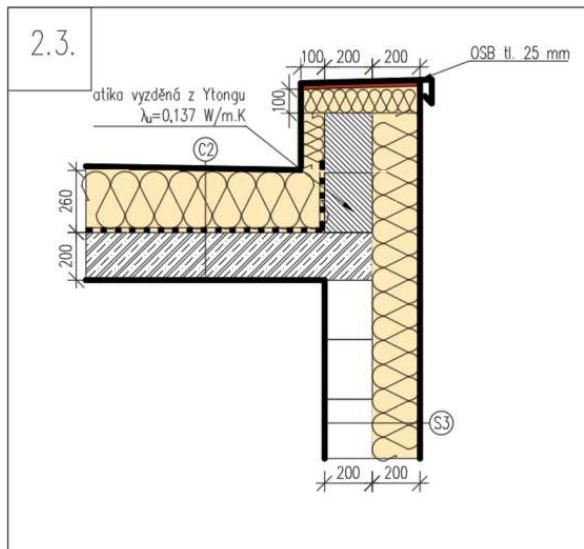
Ve výpočtu je zanedbáno oplechování, vrstvy omítek, lepidla, hydroizolace a parozábrany. Střecha je modelována s konstantní tloušťkou, bez spádu.

U bezatikového řešení (varianty 2.6. a 2.7.) je zanedbána podpůrná konstrukce z OSB desek.

4.2.3. Konstrukční varianty

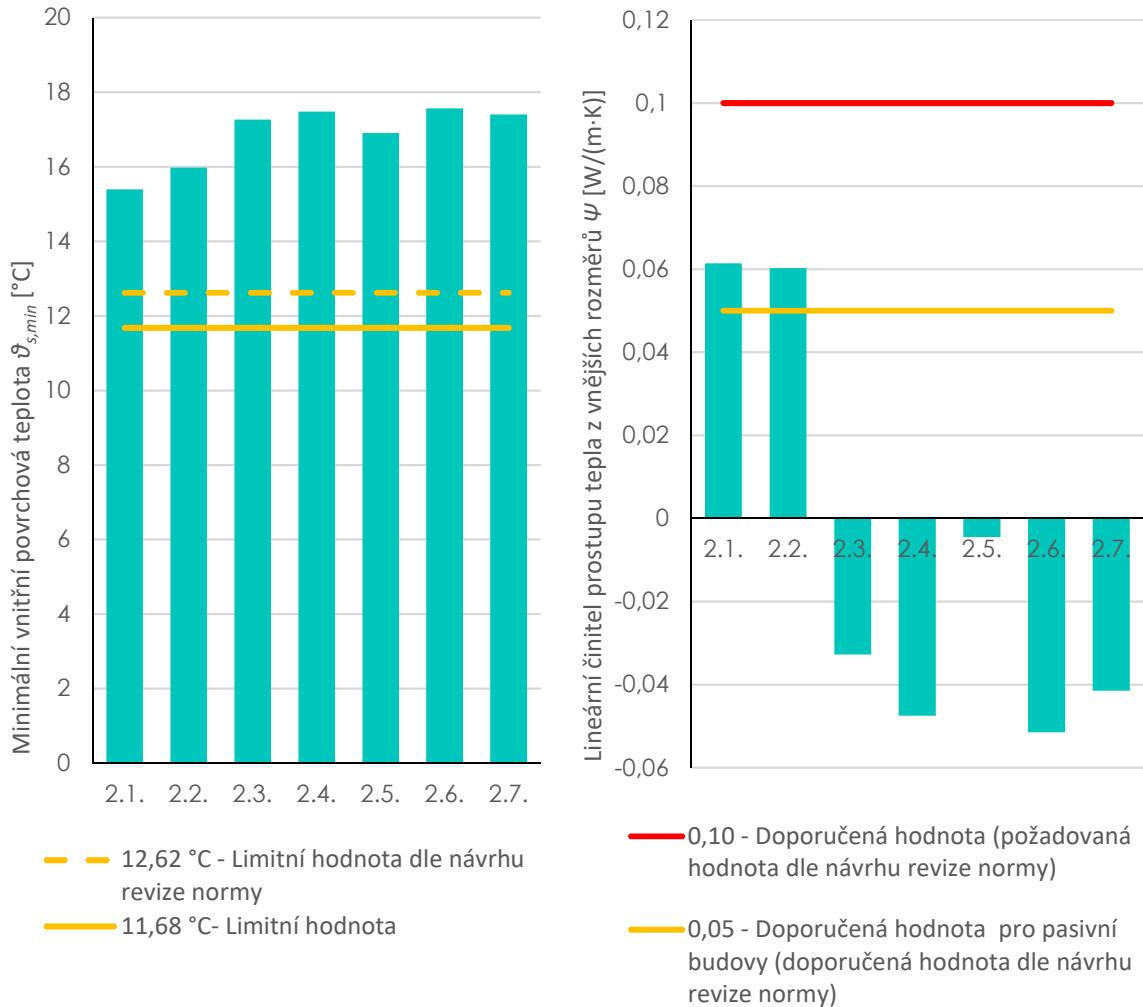
Detaily jsou zobrazeny velmi zjednodušeně. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků. První varianta je klasické (nepasivní) řešení. Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení.





4.2.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.17) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 17 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 2

4.2.5. Dílčí závěr

Varianty **2.1.** a **2.2.** jsou klasickým řešením atiky, která je vyzděna a obalena tepelnou izolací. Z grafů je vidět, že tyto varianty jsou vhodné pro klasické budovy, ale pro pasivní budovy jsou nedostačující. Takovému řešení se nevyhneme především u rekonstrukcí stávajících budov.

U varianty **2.3.** je atika vyzděná z pórobetonu, který má dobré izolační vlastnosti, jedná se o efektivní řešení zděné atiky. U použití pórobetonu je třeba kvalitní provedení hydroizolace střechy v případě nasáknutí zdiva vodou by se výrazně zhoršily izolační vlastnosti a s tím souvisí i nepříznivé objemové změny.

Atika může být také provedena pomocí dřevěné konstrukce z OSB desek a vyplněná izolací **2.4.**. Toto řešení vychází nejlépe z hlediska hodnoty lineárního činitele prostupu tepla pro střechu s atikou.

Další vhodné řešení je železobetonová atika s ISO nosníkem **2.5.** Toto řešení splňuje doporučenou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Takové řešení je cenově nákladné a není tak efektivní jako přechází varianty. Jedná se o drahé a proveditelnosti komplikované řešení.

Další varianty **2.6** a **2.7** jsou příkladem bezatikového řešení ploché střechy. Střecha má buď předsazený okapový žlab, nebo je žlab zapuštěný do izolace střechy. Tyto dvě varianty jsou velmi dobré, protože nedochází k přerušení souvislé izolace obálky budovy. Výhodou je také to, že dešťový svod je veden vně budovy a neprochází konstrukcí střechy, což na druhou stranu může mít negativní dopad na vzhled budovy.

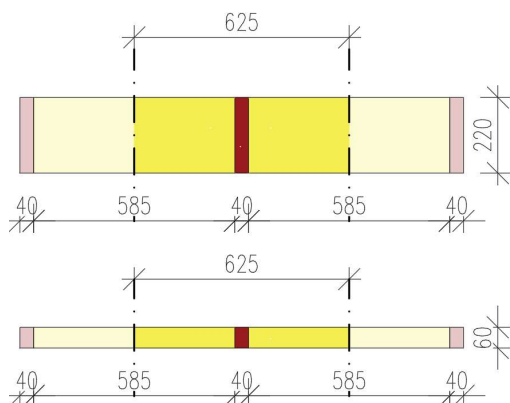
4.3. Detail 3

4.3.1. Výpočet

Postup výpočtu je stejný jako u vzorového výpočtu v kapitole 2.

Nosnou konstrukci střechy detailu tvoří krokve 40x220 po 625 mm, mezilehlý prostor je vyplněn minerální izolací. Dřevěný rošt podhledu tvoří dřevěné hranoly 40x60 mm po 625 mm + mezery jsou vyplněny minerální izolací.

Při výpočtu součinitele prostupu tepla U byly vrstvy s dřevěnými prvky sjednoceny na jeden prvek s ekvivalentním součinitelem tepelné vodivosti λ_{ekv} . Hodnota ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti je vypočítána pomocným výpočtem v programu Teplo 2017, kde je výpočet proveden v souladu s ČSN EN ISO 6946 čl. 6.2..



obr. 18 – Geometrie dřevěného roštu střechy a podhledu

Dřevěný rošt podhledu není modelován, protože je rovnoběžný s řezovou rovinou. Jeho vliv je zohledněn pomocí hodnoty ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti λ_{ekv} .

Řezová rovina střechy je umístěna v ose izolace mezi krokvelemi.

4.3.2. Zjednodušení

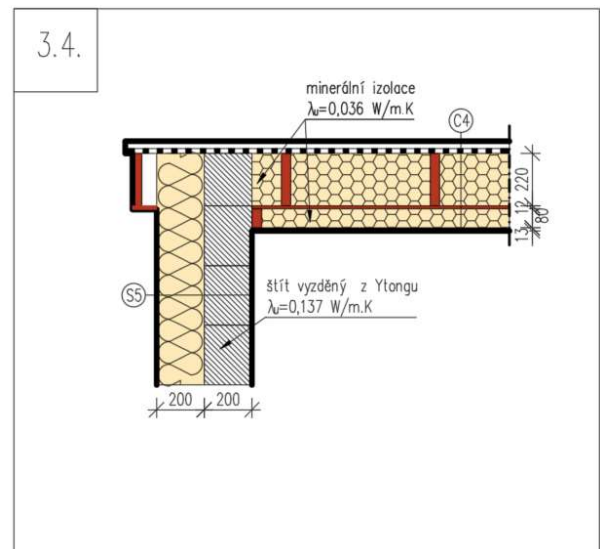
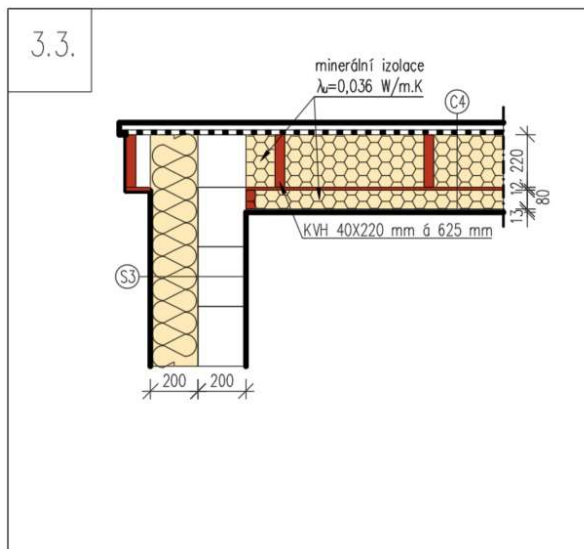
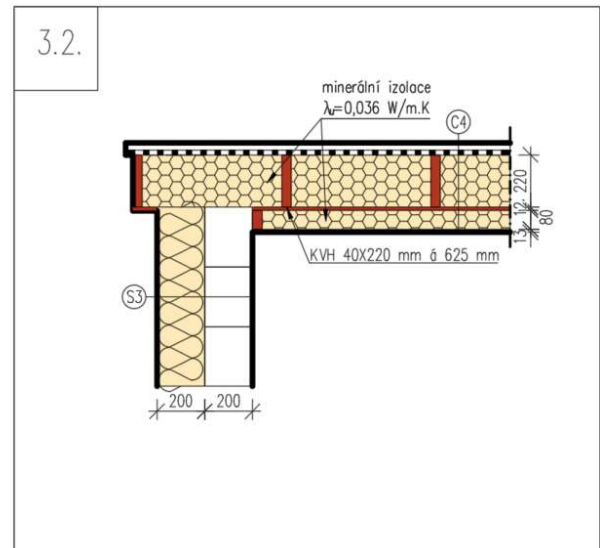
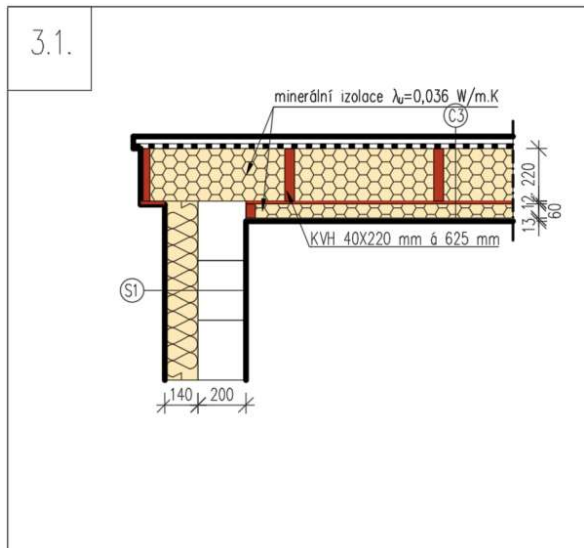
Ve výpočtu jsou zanedbány vrstvy nad pojistnou hydroizolací

Nejsou modelovány vrstvy omítek, lepidla, hydroizolace a parozábrany.

Je zanedbáno dřevěné obložení v exteriéru.

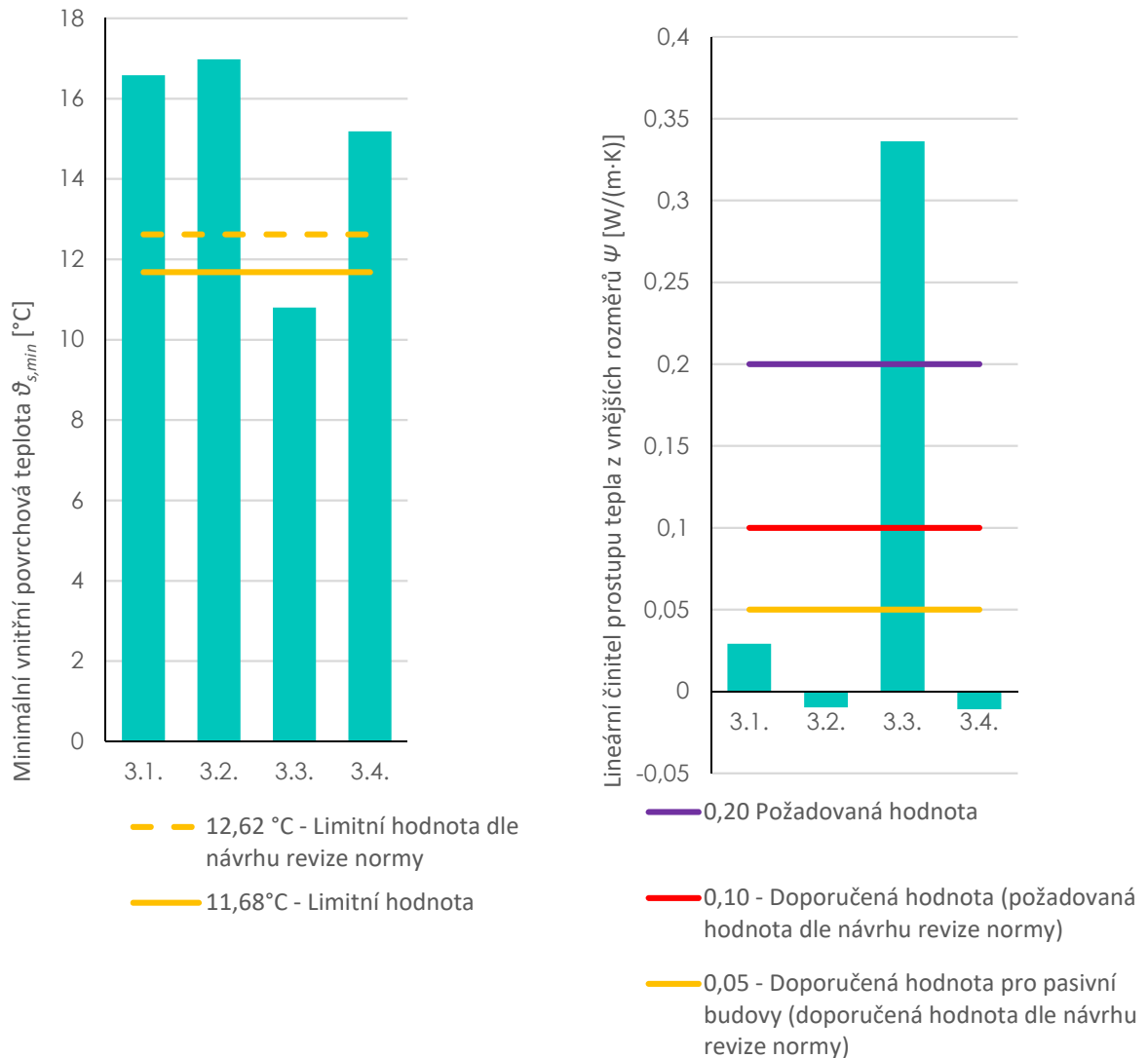
4.3.3. Konstrukční varianty

První varianta je klasické (nepasivní) řešení. Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení. Detaily jsou zobrazeny velmi zjednodušeně. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.



4.3.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.19) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 19 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 3

4.3.5. Dílčí závěr

Varianta s prostupující štítovou stěnou **3.3.** je ukázkou špatného a nevyhovujícího řešení. Takové řešení nesplňuje požadovanou minimální povrchovou teplotu ani požadavek na hodnotu lineárního činitele prostupu tepla. V tomto případě by mohlo docházet k tvorbě plísní.

Dobrou alternativou tohoto řešení je vyzdění štítové stěny z Ytongu **3.4.**. Nevýhodou pórobetonu je vysoká nasákavost. S růstem vlhkosti se zhoršují tepelně-technické vlastnosti, s tím souvisí objemové změny a možné poruchy. Proto se použití pórobetonového zdiva nedoporučuje do prostorů se zvýšenou vlhkostí.

Další varianty **3.1.** a **3.2.** jsou také vyhovující pro pasivní budovy. Štítová stěna je ukončena pod nosnou konstrukcí střechy a prostor nad stěnou je vyplněn izolací. Detail je celý obalen izolací, jsou tak přerušeny tepelné mosty.

4.4. Detail 4

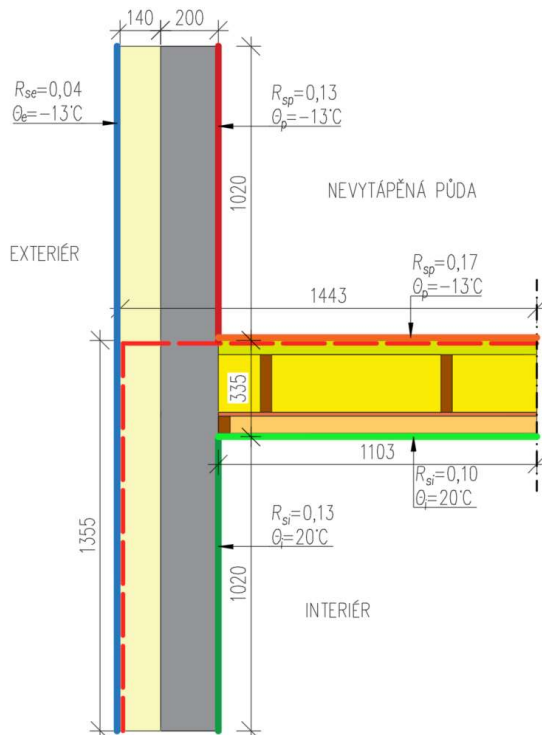
4.4.1. Výpočet

Strop pod nevytápěnou půdou je dobře izolovaný, proto můžeme uvažovat, že návrhová teplota na půdě je stejná, jako venkovní teplota -13°C . Půda je uzavřený prostor, vnitřní povrchy jsou namáhány jinak, než je tomu ve venkovním prostředí, kde působí vnější nepříznivé podmínky. Odporů při přestupu tepla uvažujeme stejné, jako pro vnitřní prostředí.












Řezová rovina stropu je umístěna v ose izolace mezi kleštinami.

Dřevěný rošt podhledu není modelován, protože je rovnoběžný s řezovou rovinou. Jeho vliv je zohledněn pomocí hodnoty ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti λ_{ekv} . Hodnota je vypočítána pomocným výpočtem v programu Teplo 2017.

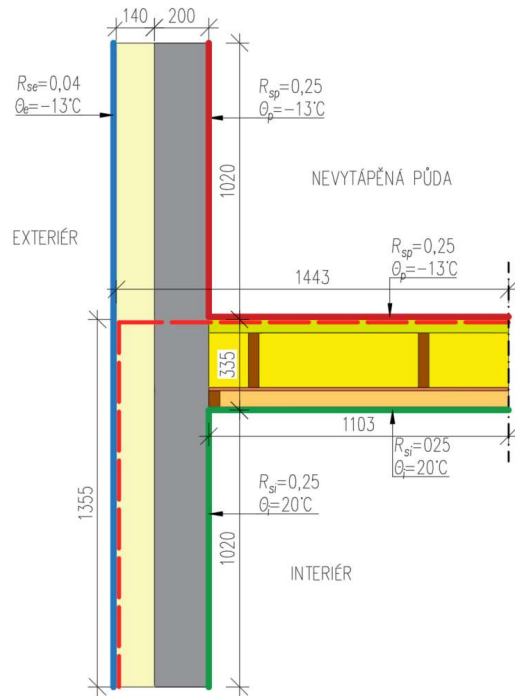
Výpočetní model pro zjištění hodnoty lineárního činitele prostupu tepla:



obr. 20 - Výpočetní model pro zjištění hodnoty lineárního činitele prostupu tepla detailu 4.1.

	Vápenopískové cihly na tenkovrstvou maltu $\lambda_u=1,03 \text{ W/m.K}$	200 mm
	Tepelná izolace EPS s grafitem $\lambda_u=0,033 \text{ W/m.K}$	140 mm
	Minerální izolace $\lambda_u=0,036 \text{ W/m.K}$	
	v dřevěném roštu 40x200 á 625 mm	200 mm
	Minerální izolace $\lambda_u=0,036 \text{ W/m.K}$	
	v dřevěném roštu 40x60 á 625 mm $\lambda_{ekv}=0,044 \text{ W/m.K}$	60 mm
	Minerální izolace $\lambda_u=0,036 \text{ W/m.K}$	50 mm
	OSB deska	12 mm
	KVH hranol	40x60; 40x200 mm
	SDK deska	12,5 mm
	Hranice vytápěné zóny	
	Označení okrajové podmínky	
		

Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty:



obr. 21 - Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty detailu 4.1.

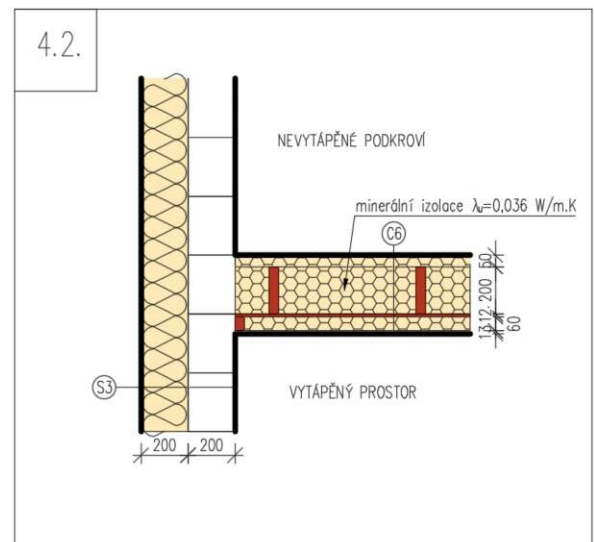
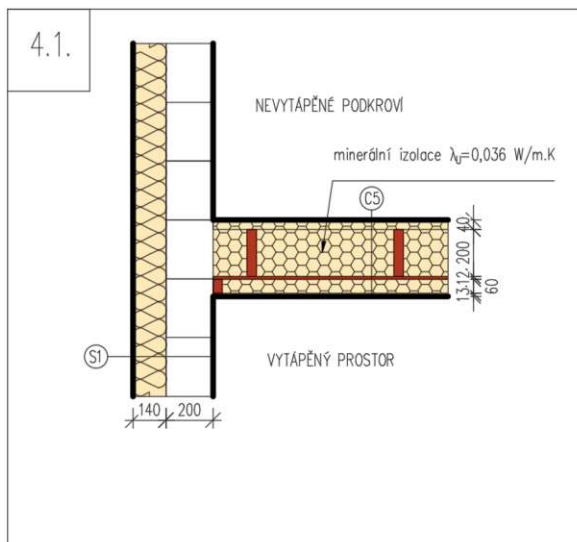
4.4.2. Zjednodušení

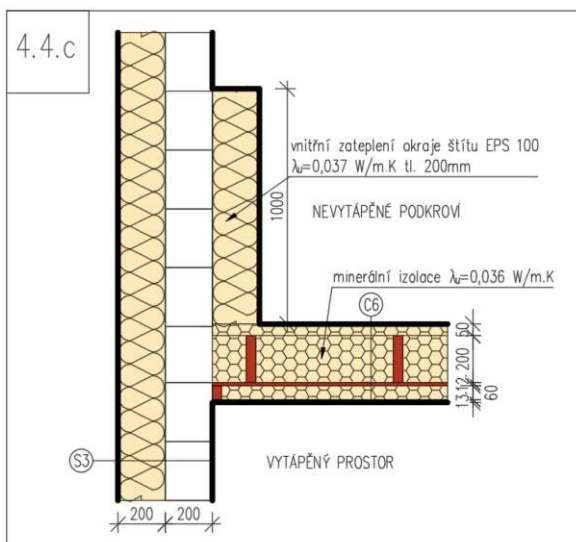
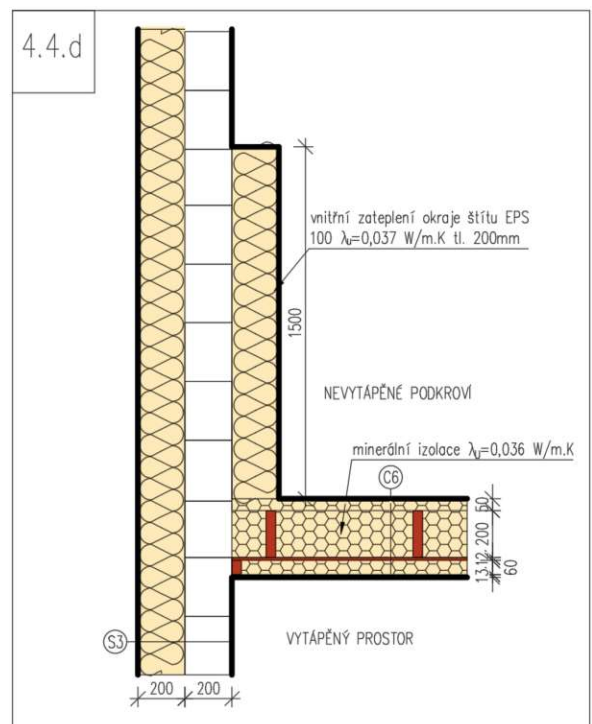
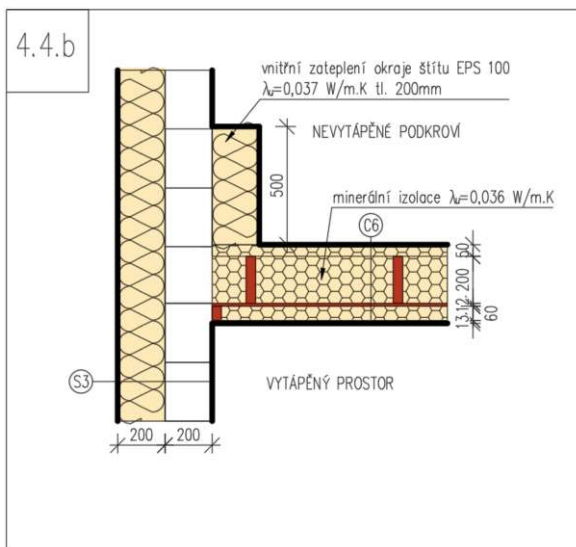
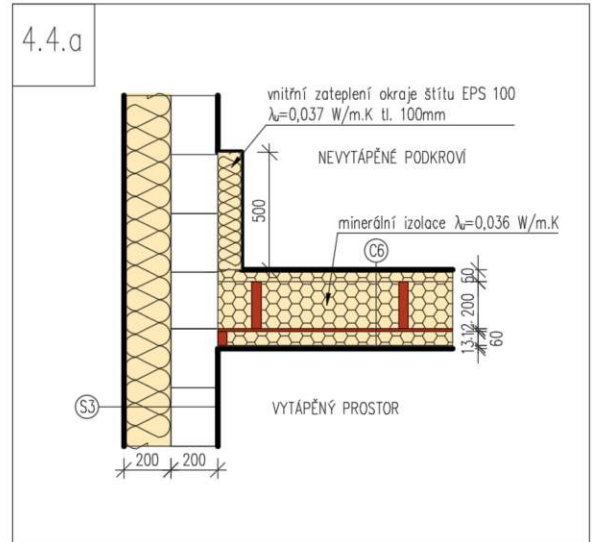
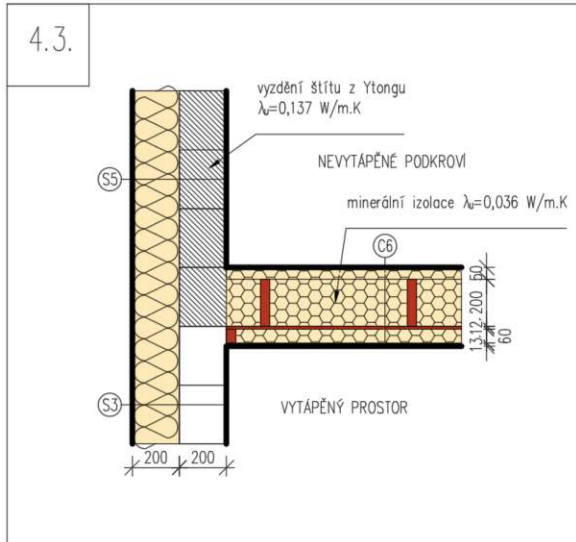
Ve výpočtu jsou zanedbány vrstvy nad pojistnou hydroizolací

Nejsou modelovány vrstvy omítek, lepidla, hydroizolace a parozábrany.

4.4.3. Konstrukční varianty

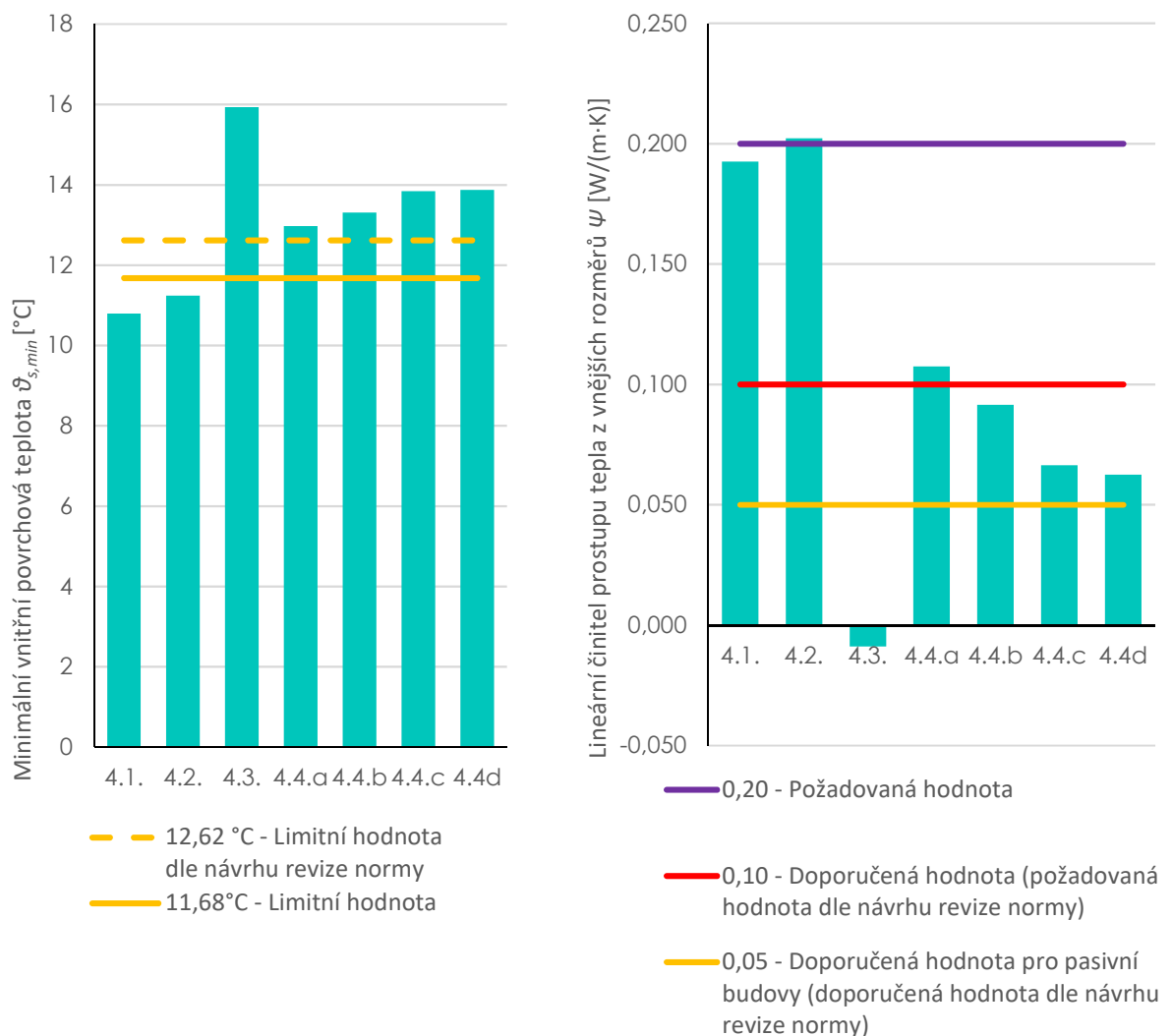
První varianta je klasické (nepasivní) řešení. Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.





4.4.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.22) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 22 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 4

4.4.5. Dílčí závěr

Varianty **4.1.** a **4.2.** jsou naprosto nevyhovující. Minimální vnitřní povrchová teplota nesplňuje limitní hodnotu, v takovémto případě by mohlo docházet ke vzniku plísní. Varianta 4.2. navíc nesplňuje požadovanou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla.

Velmi efektivním a nejlepším řešením (**4.3.**) je vyzdění štítu z pórobetonových tvárnic. Nevýhodou pórobetonu je vysoká nasákavost. S růstem vlhkosti se zhoršují tepelně-technické vlastnosti, s tím souvisí objemové změny a možné poruchy. Proto se použití pórobetonového zdiva nedoporučuje do prostorů se zvýšenou vlhkostí.

Další možností (**4.4.a–4.4.d**) je přidání vnitřní izolace. Jak je vidět z grafu, tak ani použití izolace tl. 200 mm a výšky 1500 mm nesplňuje doporučenou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy. Toto řešení je neefektivní, ale může být vhodné jako alternativa k pórobetonovému zdivu pro nepasivní budovy.

4.5. Detail 5

4.5.1. Výpočet

Detail 5.1., 5.4.

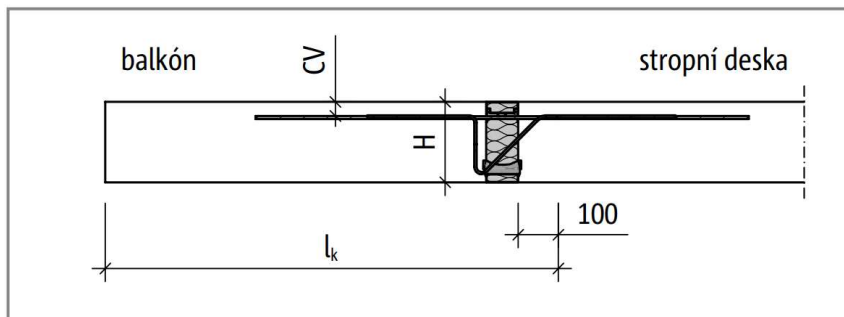
V těchto variantách je použit ISO nosník, u kterého potřebujeme zjistit ekvivalentní tepelnou vodivost (zohlednění vlivu procházející výztuže izolací vrstvou).

Nevýhodou ISO nosníku je snížení hodnoty součinitele tepelné vodivosti vlivem procházející výztuže. Čím větší zatížení nosník přenáší, tím víc obsahuje výztuže a s tím souvisí i horší izolační vlastnosti.

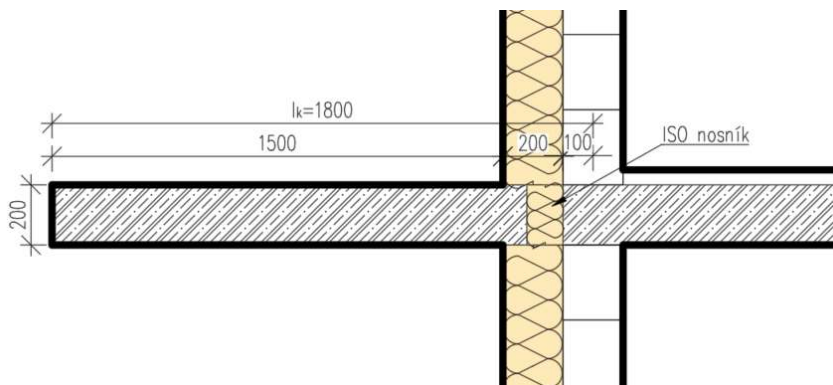
Hodnota ekvivalentní tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $\lambda_{ekv}=0,106-0,443 \text{ W/mK}$ v závislosti na výztužení. [11]

Návrh typu ISO nosníku provedeme dle technické příručky výrobků [12], kde je uveden vzorový příklad návrhu.

Pro volně vyložené balkony se používá ISO nosník typu K.



obr. 23 - Geometrie balkonu (Zdroj 12)



obr. 24 - Geometrie detailu 5.4.

beton třídy C25/30

krytí výztuže $cv=30 \text{ mm}$

geometrie: délka vyložení $l_k=1,8 \text{ m}$

tloušťka balkonové desky $h=200 \text{ mm}$

uvažované zatížení:

balkonová deska a podlaha $g=6,5 \text{ kN/m}^2$

užitné zatížení $q=3 \text{ kN/m}^2$

zatížení po obvodu (zábradlí) $g_R=1,0 \text{ kN/m}$

Výpočet vnitřních sil:

$$M_{Ed} = -[(\gamma_G \cdot g_Q + \gamma_q \cdot q) \cdot \frac{l_k^2}{2} + \gamma_G \cdot g_R \cdot l_k]$$

$$M_{Ed} = -[(1,35 \cdot 6,5 + 1,5 \cdot 3) \cdot \frac{1,8^2}{2} + 1,35 \cdot 1 \cdot 1,8]$$

$$M_{Ed} = -23,9 \text{ kNm/m}$$

$$V_{Ed} = [(\gamma_G \cdot g_Q + \gamma_q \cdot q) \cdot l_k + \gamma_G \cdot g_R]$$

$$V_{Ed} = (1,35 \cdot 6,5 + 1,5 \cdot 3) \cdot 1,8 + 1,35 \cdot 1$$

$$V_{Ed} = 25,2 \text{ kN/m}$$

Z tabulky v katalogu je vybrán typ **K30S-V8-CV30-H200** [12]

Tento ISO nosník je schopen přenést zatížení:

$$M_{Rd,y} = -38,0 \text{ kNm/m} > M_{Ed}$$

$$V_{Rd,z} = 61,8 \text{ kN/m} > V_{Ed}$$

Tento typ má hodnotu ekvivalentní tepelné vodivosti [11]:

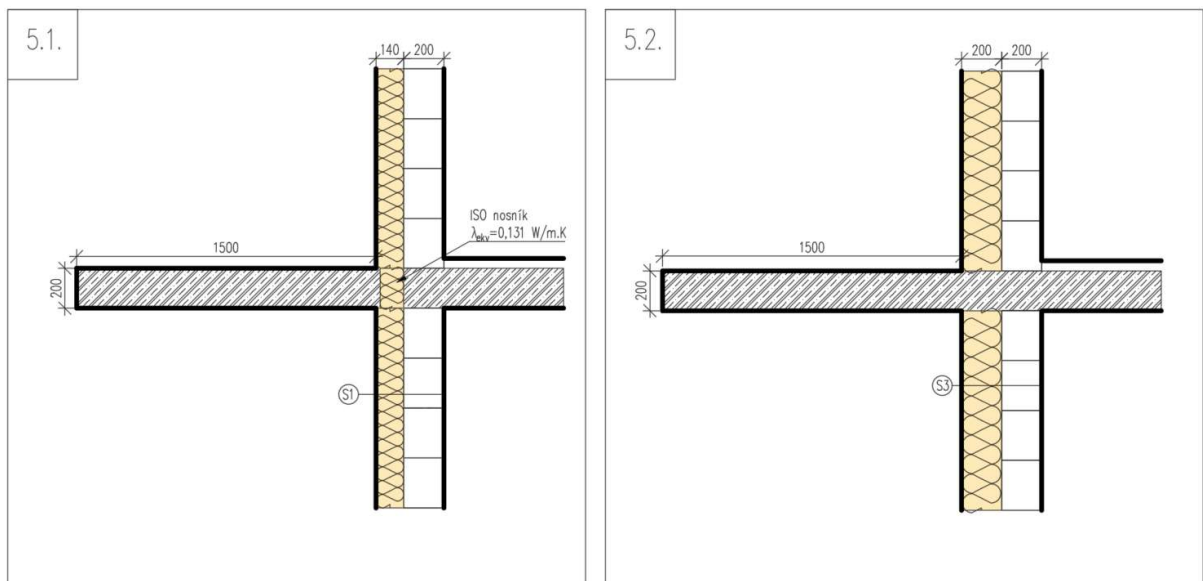
$$\lambda_{ekv} = 0,131 \text{ W/mK}$$

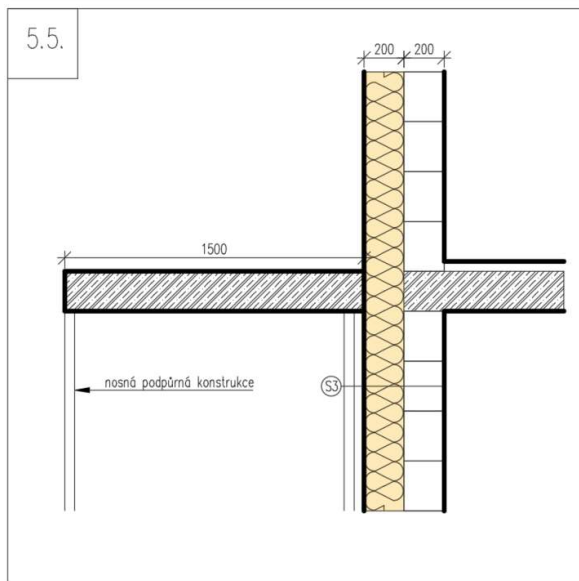
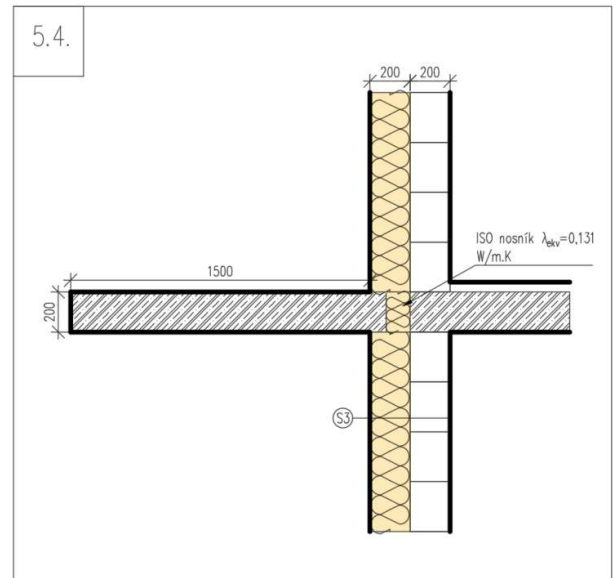
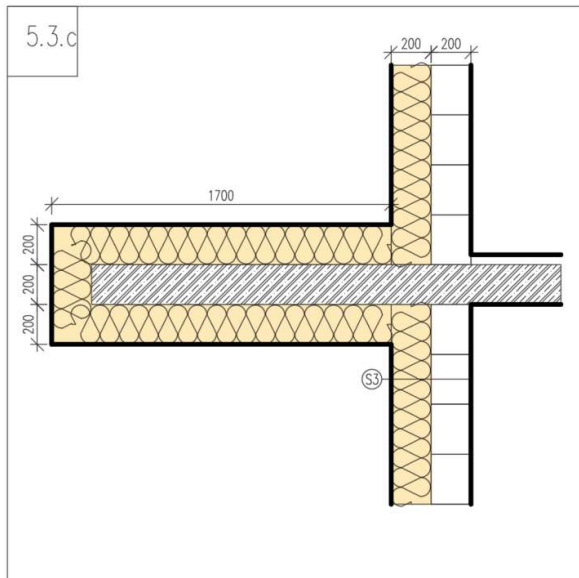
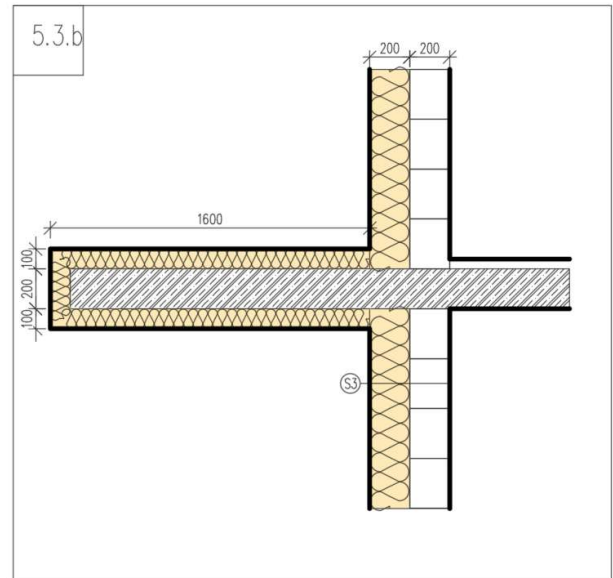
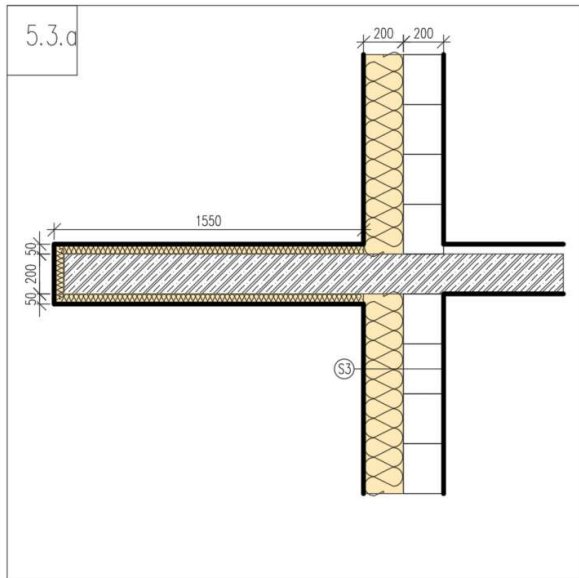
4.5.2. Zjednodušení

Jsou zanedbány vrstvy omítek, lepidla, hydroizolace a podlahy. U Varianty 5.5. je zanedbáno bodové kotvení balkonové desky ke stropní desce.

4.5.3. Konstrukční varianty

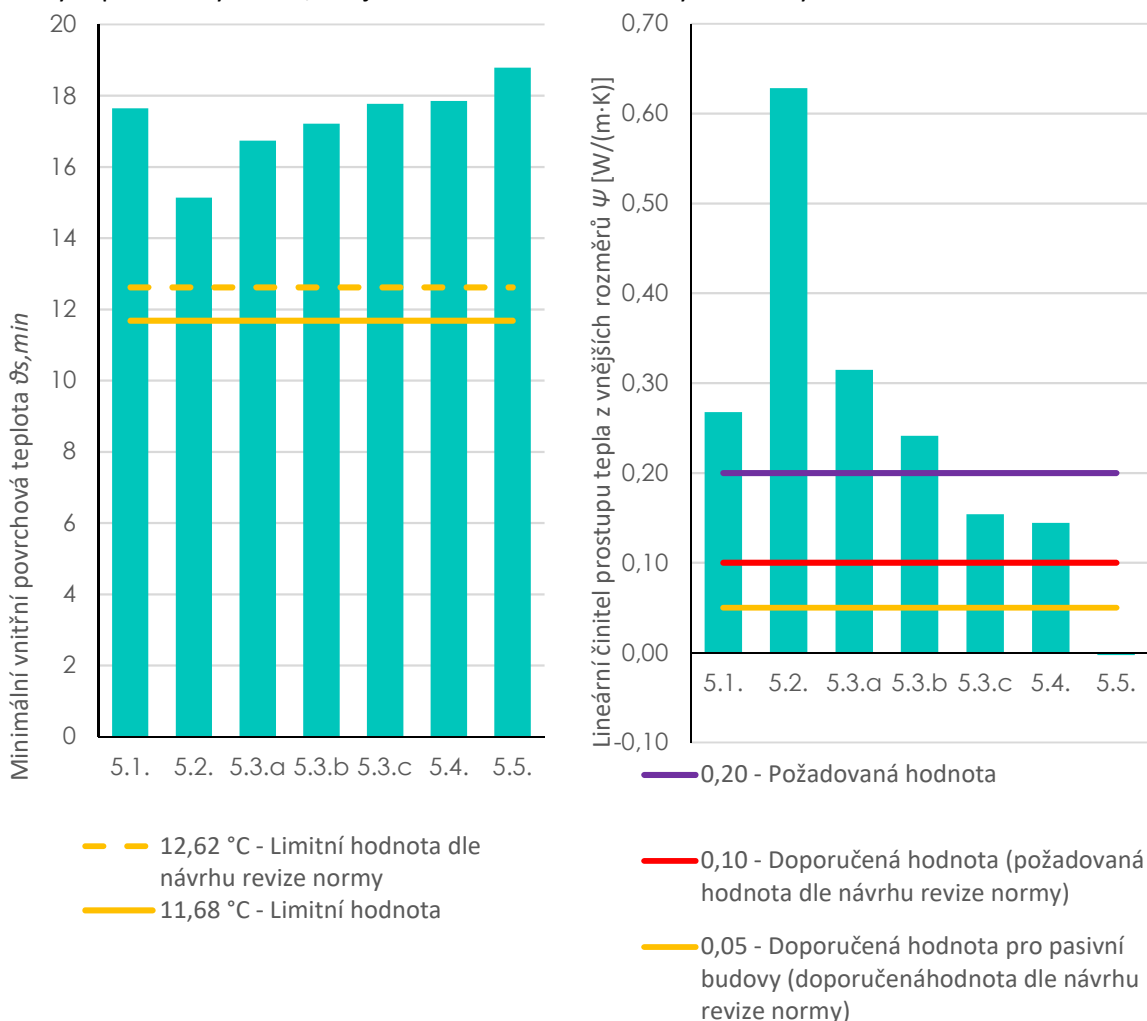
První varianta je klasické (nepasivní) řešení. Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.





4.5.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.25) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 25 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 5

4.5.5. Dílčí závěr

Všechny varianty splňují požadavek na minimální povrchovou teplotu.

Varianty **5.1–5.3.b** nesplňují požadovanou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla 0,2 W/m·K.

Varianta **5.2.** je ukázkou toho, když není řešen tepelný most prostupem stropní konstrukce. Toto řešení je naprosto nevyhovující. Takto je řešeno ještě mnoho starších budov.

Možnou variantou je obalení balkonové konstrukce tepelnou izolací **5.3.a-c**, v různých tloušťkách izolace. Toto řešení se používá především u rekonstrukcí. Obalení konstrukce izolací tl. 200 mm (5.3.c) má téměř stejné parametry, jako při použití ISO nosníku.

Nejčastějším řešením je použití ISO nosníku pro přerušování tepelného mostu mezi balkonovou a stropní deskou (varianty **5.1.** a **5.4.**). Výhodou použití ISO nosníku je to, že se nezvětšuje tloušťka balkonové konstrukce, což má pozitivní architektonické dopady.

Nejllepší variantou je balkonovou desku předsadit před obvodový plášť **5.5.** Deska může být buď zavěšená, nebo podepřená podpůrnou konstrukcí. Předsazený balkon se pak jen bodově přikotví ke stropní desce. Toto je jediné řešení, které splňuje doporučenou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy.

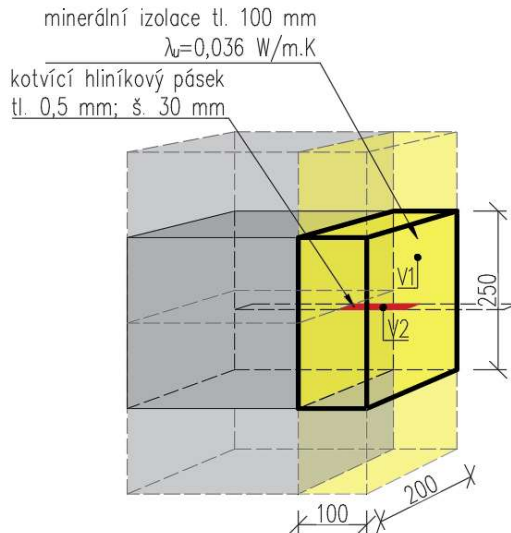
4.6. Detail 6

4.6.1. Výpočet

Varianta 6.5.

V této variantě je pro přerušení tepelného mostu použita minerální izolace, skrz kterou je přikotveno zdivo žebra. Proto je potřeba zohlednit vliv procházejícího kotvení izolací pomocí ekvivalentní hodnoty lineárního činitele prostupu tepla λ_{ekv} .

Hodnotu vypočítáme pomocí poměru objemů.



obr. 26 - Výsek konstrukce izolace s kotvícím páskem

Celkový objem výřezu:

$$V = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 0,2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Vlastnosti výřezu minerální izolace:

Minerální izolace ze skelných vláken tl. 100 mm

$$\lambda_1 = 0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K (návrhová hodnota)}$$

$$V_2 = 0,1 \cdot 0,03 \cdot 0,0005 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Vlastnosti výřezu hliníkové kotvy:

Hliníková kotva tl. 0,5 mm, š. 30 mm, umístěná v každé ložné spáře zdiva (po 250 mm).

$$\lambda_2 = 204 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$V_1 = V - V_2 = 5 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-6} = 4,9985 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{ekv} = \frac{V_1 \cdot \lambda_1 + V_2 \cdot \lambda_2}{V_1 + V_2} = \frac{4,9985 \cdot 10^{-3} \cdot 0,036 + 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 204}{5 \cdot 10^{-3}}$$

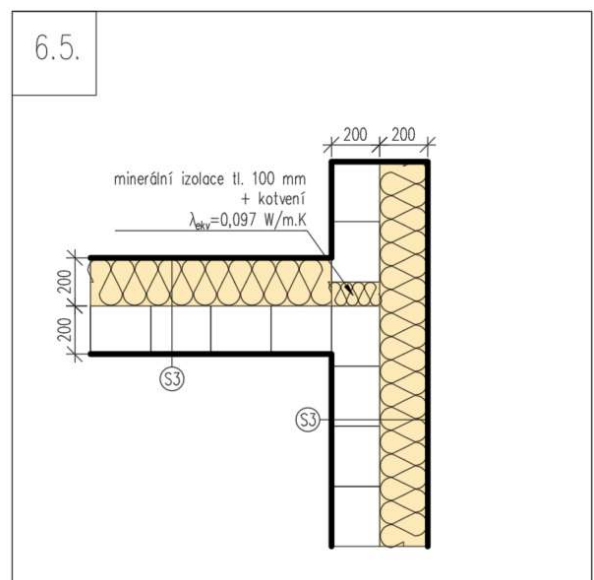
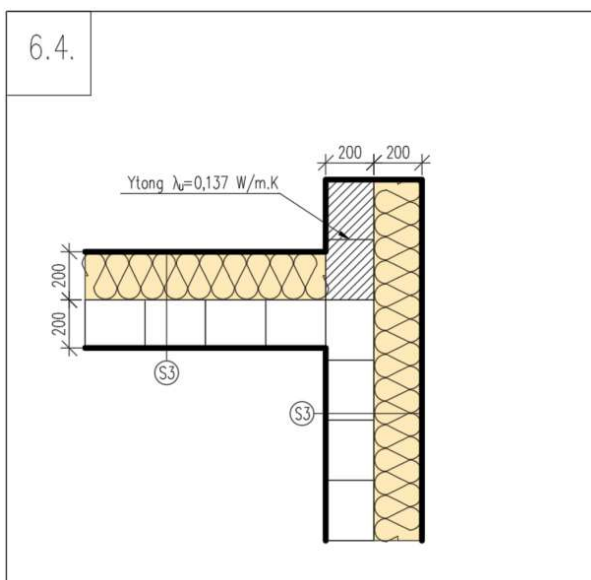
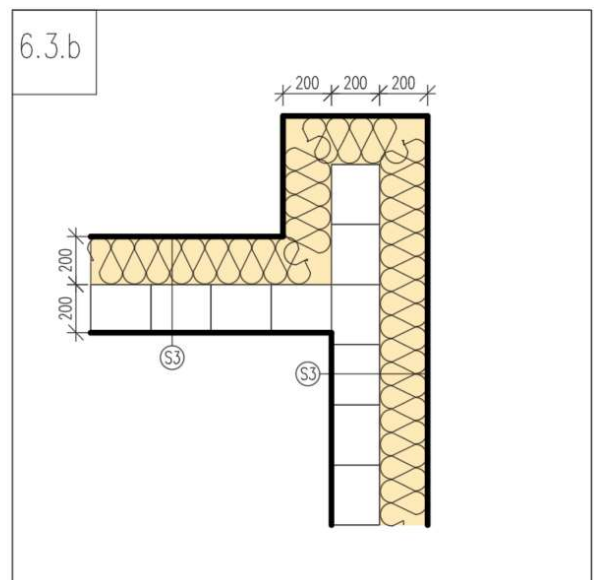
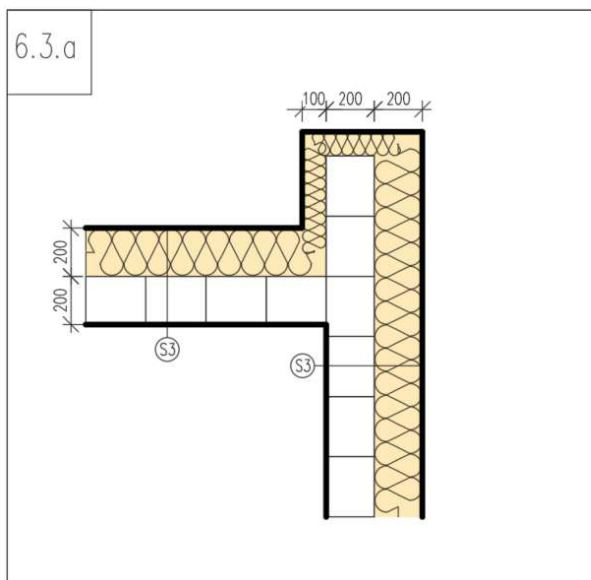
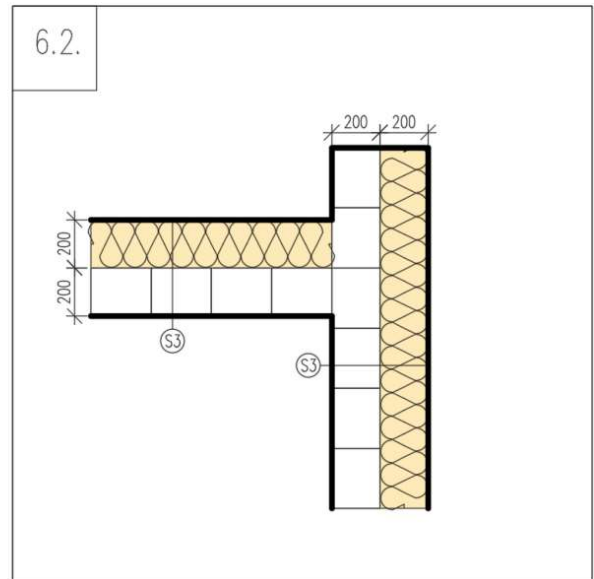
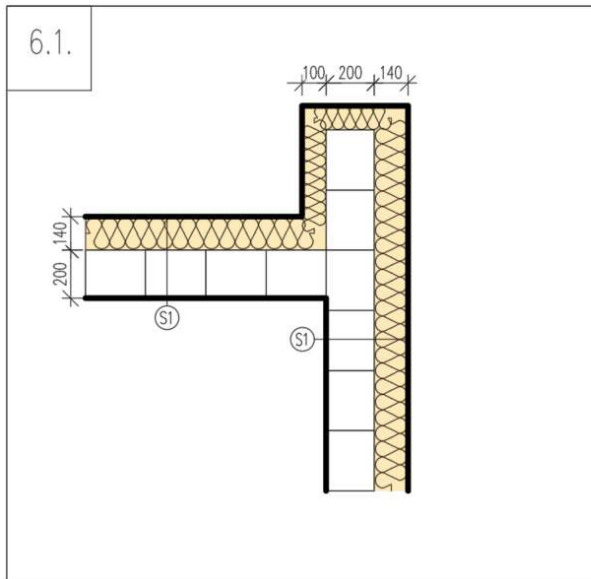
$$\lambda_{ekv} = 0,097 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

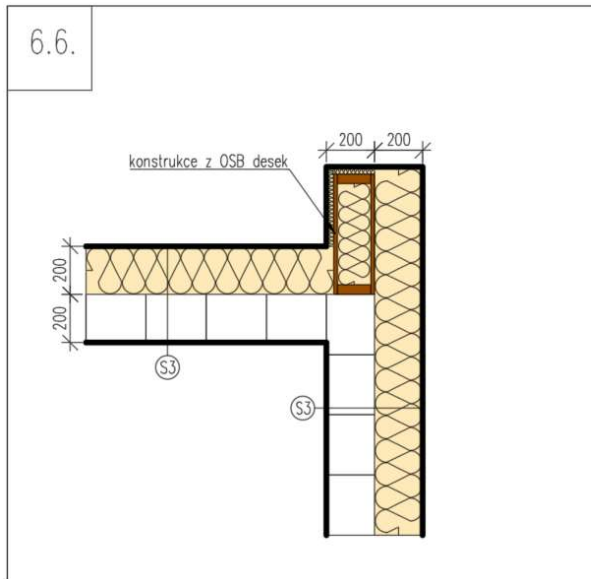
4.6.2. Zjednodušení

Zanedbány vrstvy omítek a lepidla

4.6.3. Konstrukční varianty

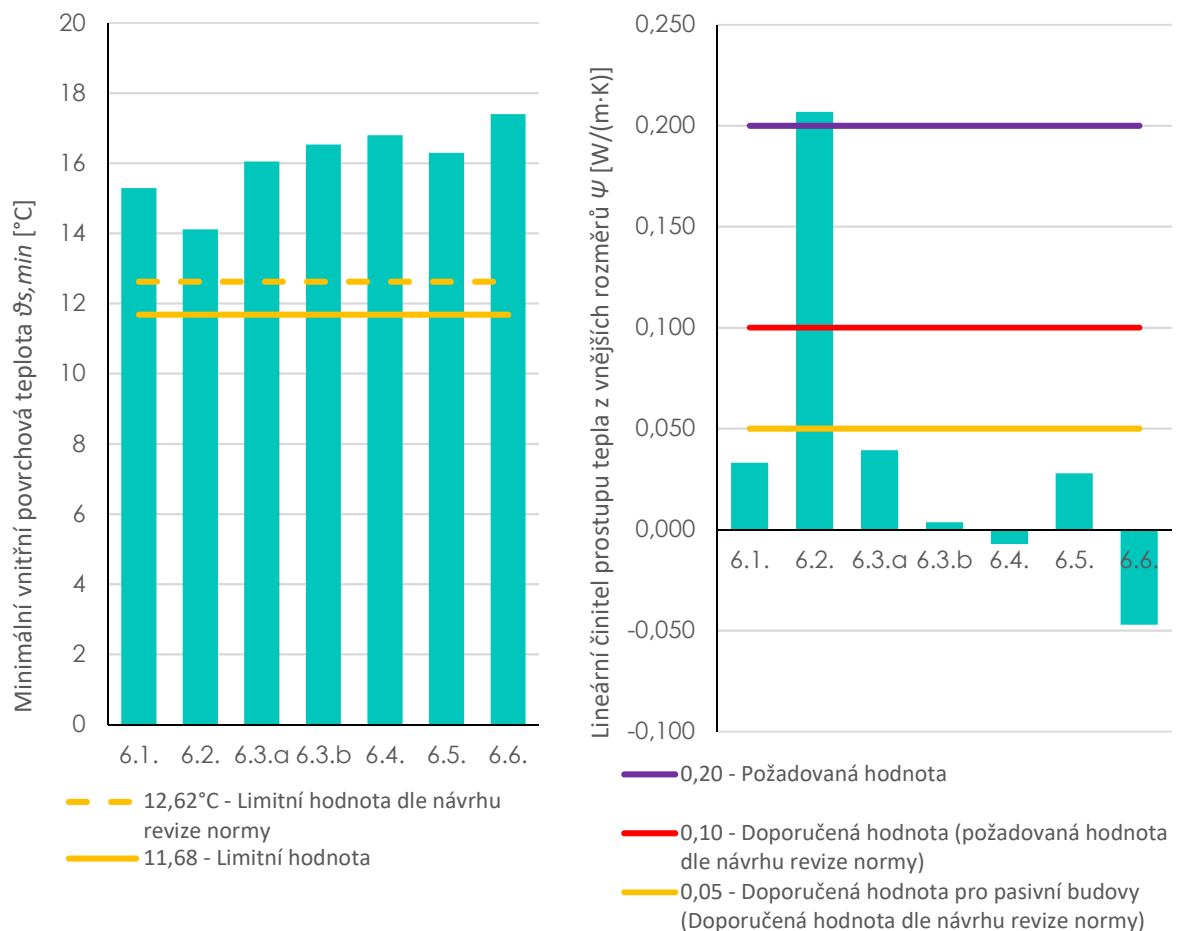
První varianta je klasické (nepasivní) řešení. Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.





4.6.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.19) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 27 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 6

4.6.5. Dílčí závěr

Základní variantou (**6.1.** a **6.3.a**) je obalení žebra izolací tl. 100 mm. Už takové základní řešení vyhovuje doporučené hodnotě lineárního činitele prostupu tepla pro pasivní budovy.

Ve variantě **6.3.b** je žebro obaleno izolací tl. 200 mm. Toto řešení je lepší než předchozí varianta, ale nevýhodou je velká tloušťka žebra.

Varianta **6.2.** je ukázkou toho, když by se žebro neobalilo tepelnou izolací. Toto řešení nesplňuje požadovanou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla.

Výbornou variantou je vyzdění žebra z pórobetonových tvárnic **6.4.** Nevýhodou pórobetonu je vysoká nasákavost, v tomto případě je pórobeton vystaven venkovnímu prostředí. S růstem vlhkosti se zhoršují izolační vlastnosti, s tím souvisí objemové změny a možné poruchy. S vyšší vlhkostí se také výrazně snižuje pevnost zdiva.

Ve variantě **6.5.** je pro přerušování tepelného mostu použita minerální izolace, skrz kterou je přikotveno zdivo žebra. Vlastnosti izolace nám zhoršuje procházející kotvení, proto toto řešení nevychází tak dobře, jak by se na první pohled mohlo zdát.

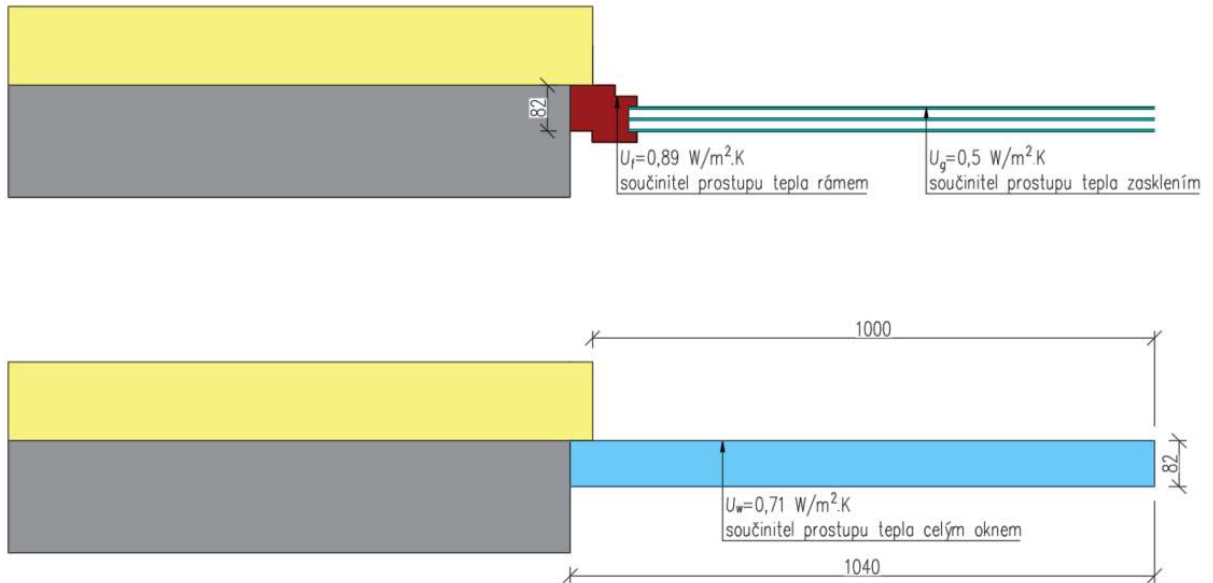
Další skvělou variantou je provedení žebra z OSB desek (**6.6.**), tato konstrukce je vyplněná izolací. Nevýhodou takového řešení je pracnost provedení a snížená únosnost žebra.

4.7. Detail 7

4.7.1. Výpočet

Model tohoto detailu je velmi zjednodušen. Této problematice se už věnoval student Pavel Kasal ve své diplomové práci [13]. Naším cílem je především porovnat vliv umístění okna na tepelně-technické vlastnosti detailu.

Konstrukce okna je zjednodušená, není rozlišena konstrukce rámu a skla. Je uvažováno izolační trojsklo $U_w=0,71$, se stavební hloubkou 82 mm [17].



obr. 28 - Zjednodušení konstrukce okenní výplně

V modelu si okno nahradíme obdélníkem o rozměrech 82 mm x 1040 (1000) mm. Pro potřeby výpočtu ve 2D teplotním poli potřebujeme znát hodnotu součinitele tepelné vodivosti okna, která je převedena na velikost zvoleného obdélníku.

Použijeme úpravu základních vztahů dle ČSN 6946 [18]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$$R = \frac{1}{U} - R_{si} - R_{se}$$

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{d}{\frac{1}{U} - R_{si} - R_{se}}$$

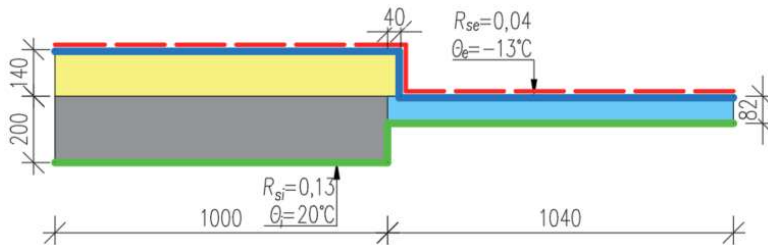
po dosazení:

$$\lambda = \frac{0,082}{\frac{1}{0,71} - 0,13 - 0,04} \doteq \mathbf{0,066 \text{ W/m} \cdot \text{K}}$$






Výpočetní model

U modelování si musíme uvědomit, že výplň otvoru má jiné okrajové podmínky než u běžné konstrukce (viz tab. 8). Požadavky na detail styku obvodové konstrukce s výplní otvoru jsou také odlišné. Požadovaná vnitřní povrchová teplota je nižší, na druhou stranu jsou doporučené hodnoty lineárního činitele prostupu tepla přísnější. (tab. 9, 10)

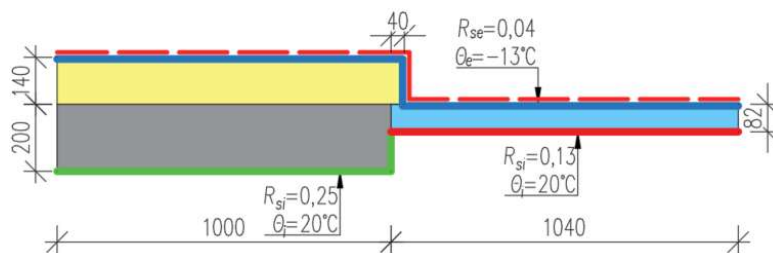
Výpočetní model pro zjištění hodnoty lineárního činitele prostupu tepla:



obr. 29 - Výpočetní model pro zjištění lineárního činitele prostupu tepla detailu 7.1.

	Vápenopískové cihly na tenkovrstvou maltu $\lambda_u=1,03$ W/m.K	200 mm
	Tepelná izolace EPS s grafitem $\lambda_u=0,033$ W/m.K	200 mm
	Izolační trojsklo $\lambda_u=0,066$ W/m.K	82 mm
	Hranice vytápěné zóny	
	Označení okrajové podmínky	

Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty:



obr. 30 - Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty detailu 7.1.

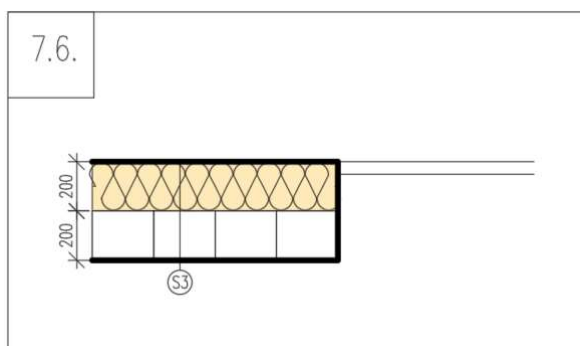
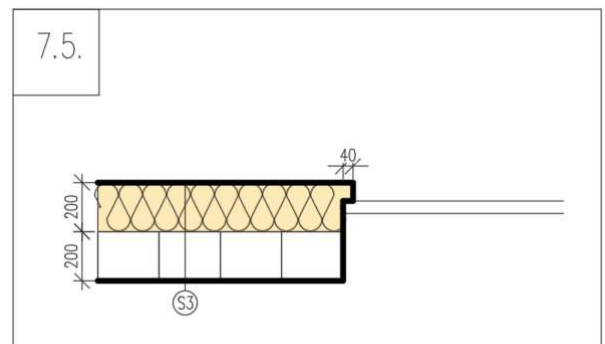
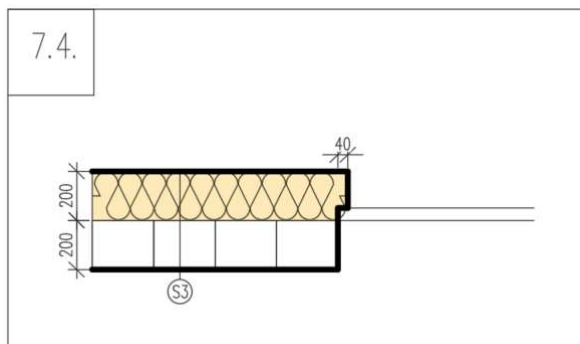
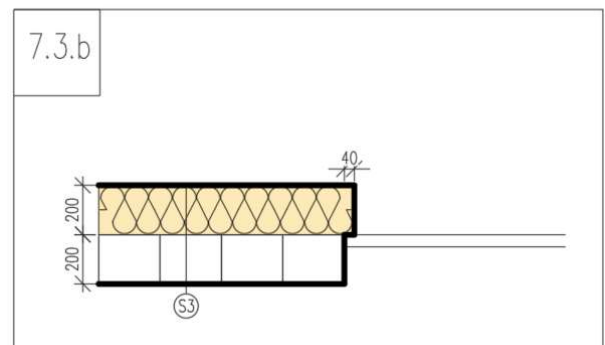
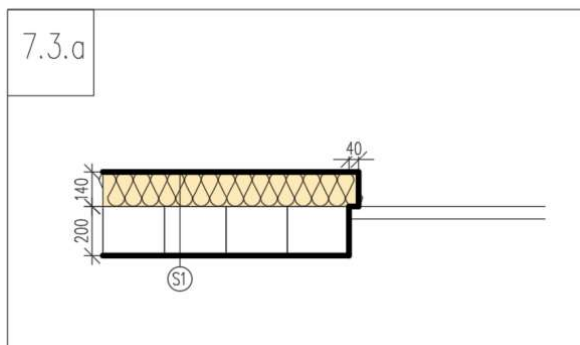
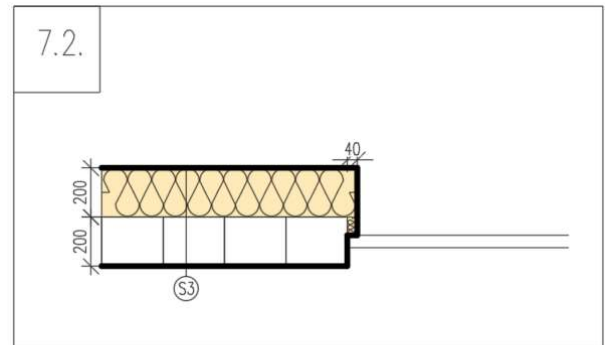
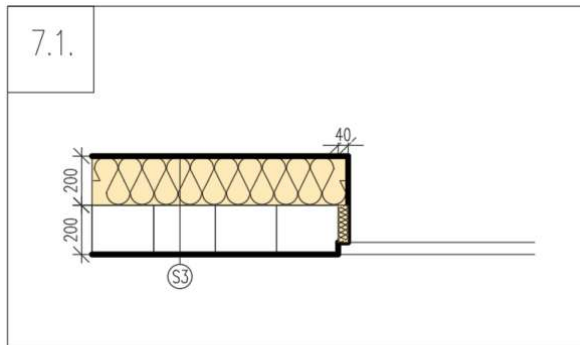
4.7.2. Zjednodušení

Konstrukce okna je zjednodušena na homogenní obdélník, není rozlišena konstrukce rámu a zasklení.

Jsou zanedbány vrstvy omítek a lepidla.

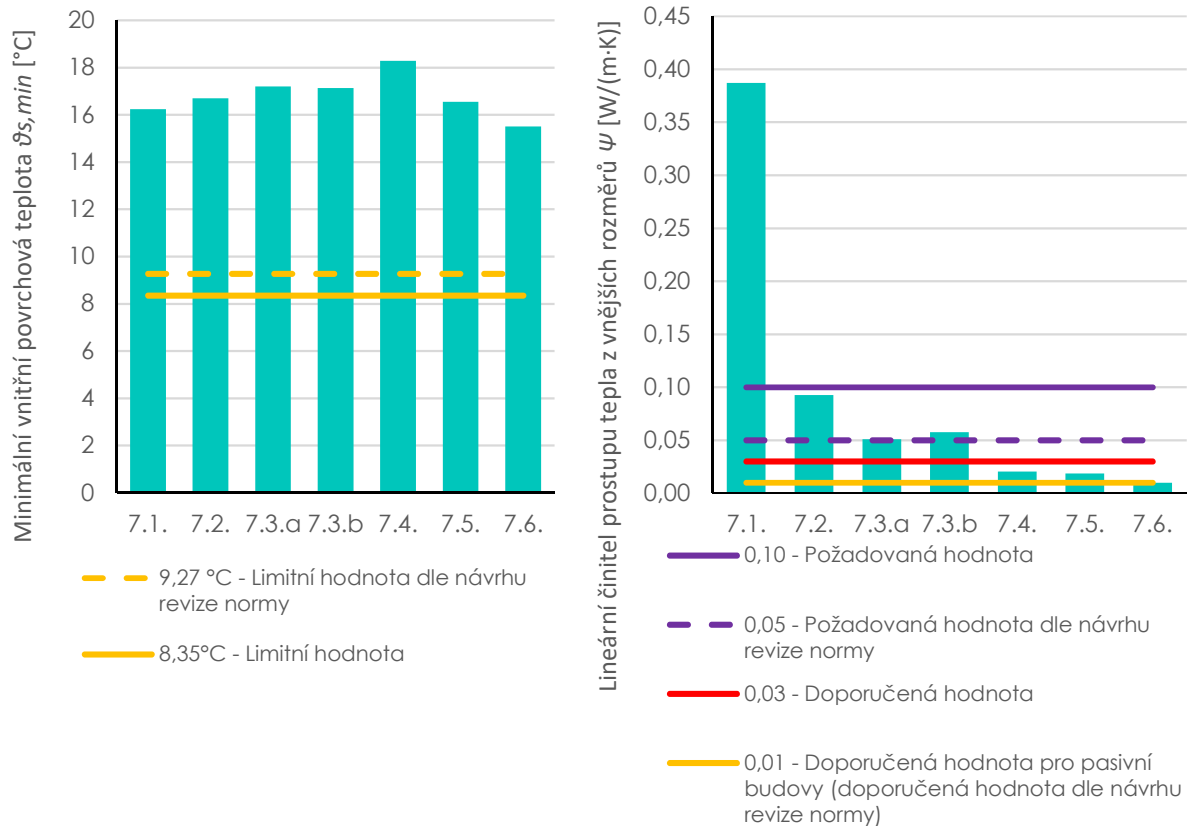
4.7.3. Konstrukční varianty

Varianta 7.3.a je klasické (nepasivní řešení). Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.

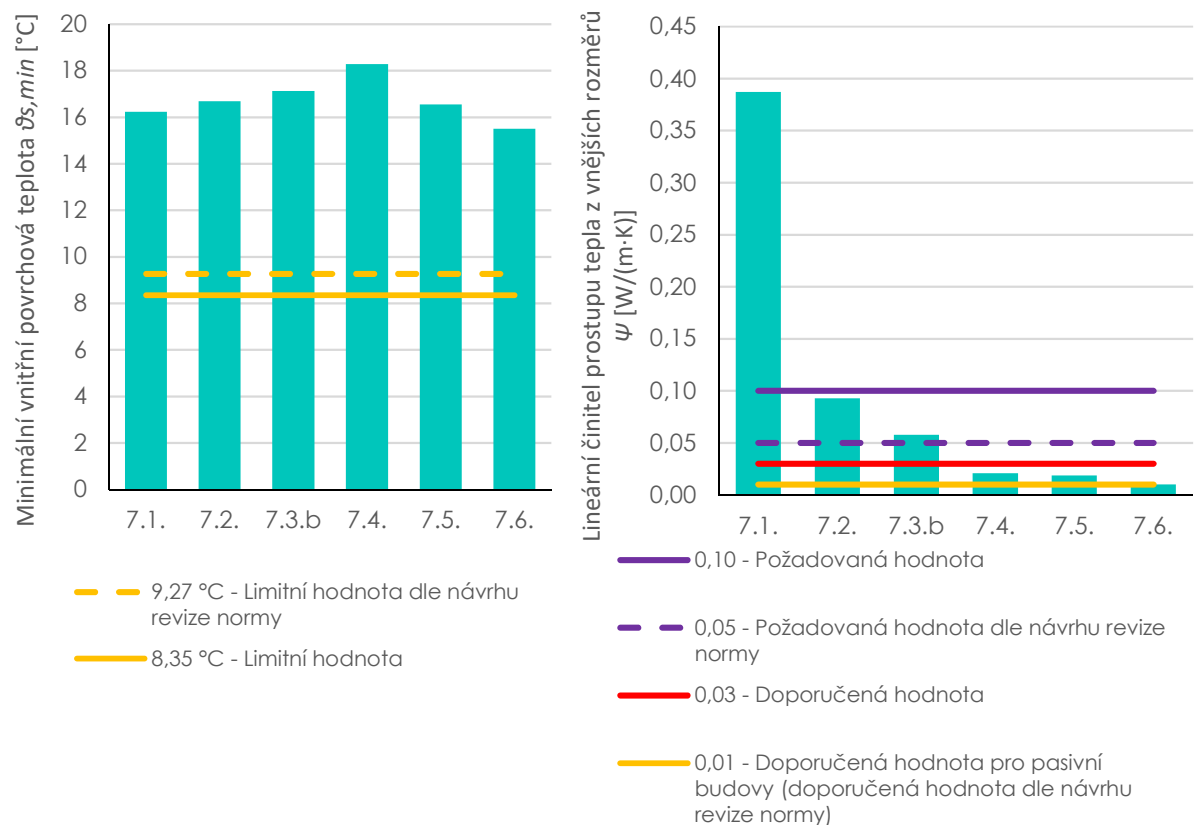


4.7.4. Výsledky

V následujících grafech (obr. 31 a 32) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize. Mezi sebou porovnáváme především varianty pro pasivní budovy (bez 7.3.a).



obr. 31 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 7



obr. 32 - Porovnání výsledných hodnot porovnatelných konstrukčních variant detailu 7

4.7.5. Dílčí závěr

Z grafu porovnávaných hodnot je vidět, jak se mění minimální vnitřní povrchová teplota a lineární činitel prostupu tepla. První variantou je osazení okna na vnitřním líci (**7.1.**) a v dalších krocích je umístění okna posouváno až k vnějšímu líci stěny (**7.6.**)

Posunem okna k vnějšímu líci stěny se snižuje hodnota lineárního činitele prostupu tepla, ale na druhou stranu okna **7.5.** a **7.6.** jsou více ochlazovaná a tím klesá jejich vnitřní povrchová teplota.

Nejlepším kompromisem mezi hodnotou lineárního činitele prostupu tepla a minimální povrchovou teplotou je varianta **7.4.** kde je okno předsazeno před zdivem.

Jelikož náš postup výpočtu je velmi zjednodušený, nemůžeme výsledné hodnoty použít do energetického hodnocení obálky budovy. V tomto případě se odkazují na diplomovou práci Pavla Kasala [13], kde jsou provedeny velmi podrobné výpočty.

Detail styku oka se stěnou je zde uveden pouze pro ukázkou toho, jaký vliv má poloha osazení okna na výsledné parametry.

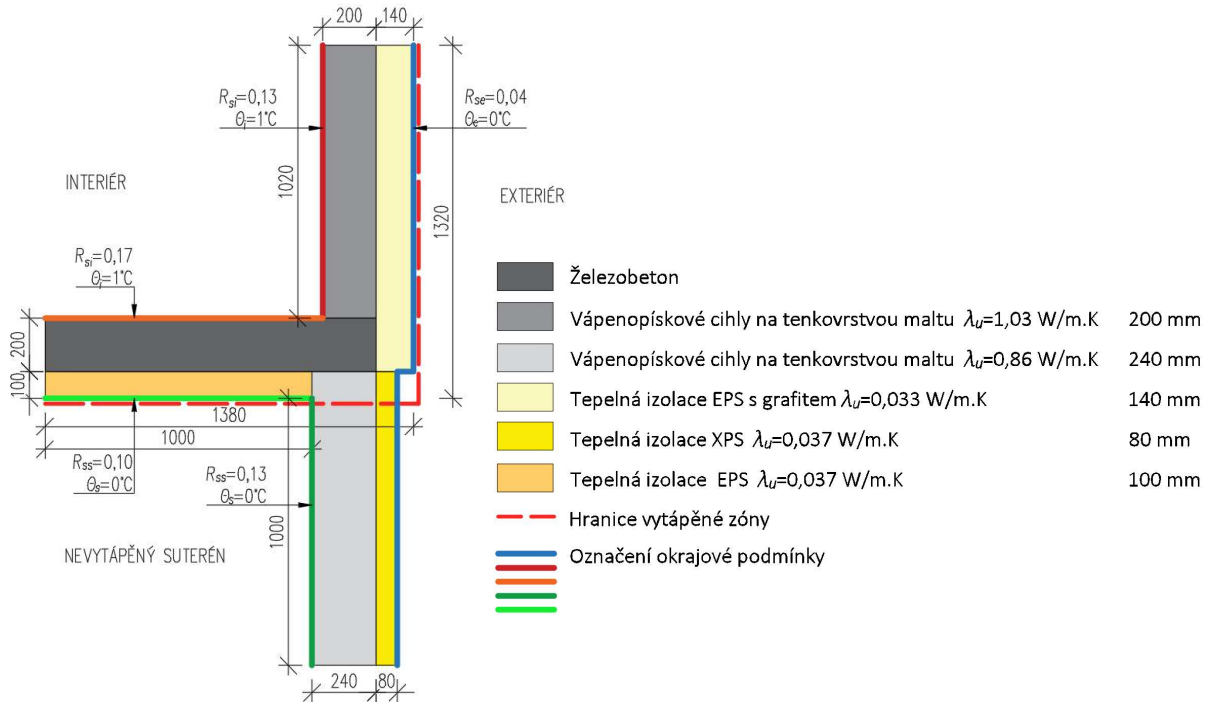
4.8. Detail 8

4.8.1. Výpočet

Tento detail je odlišný tím, že odděluje 3 prostředí. V předchozích variantách jsme se setkávali s detaily, které oddělovaly pouze 2 prostředí.

Výpočet takového detailu je proveden dle manuálu k programu Area 2017. [14]

Výpočetní model pro zjištění lineárního činitele prostupu tepla:

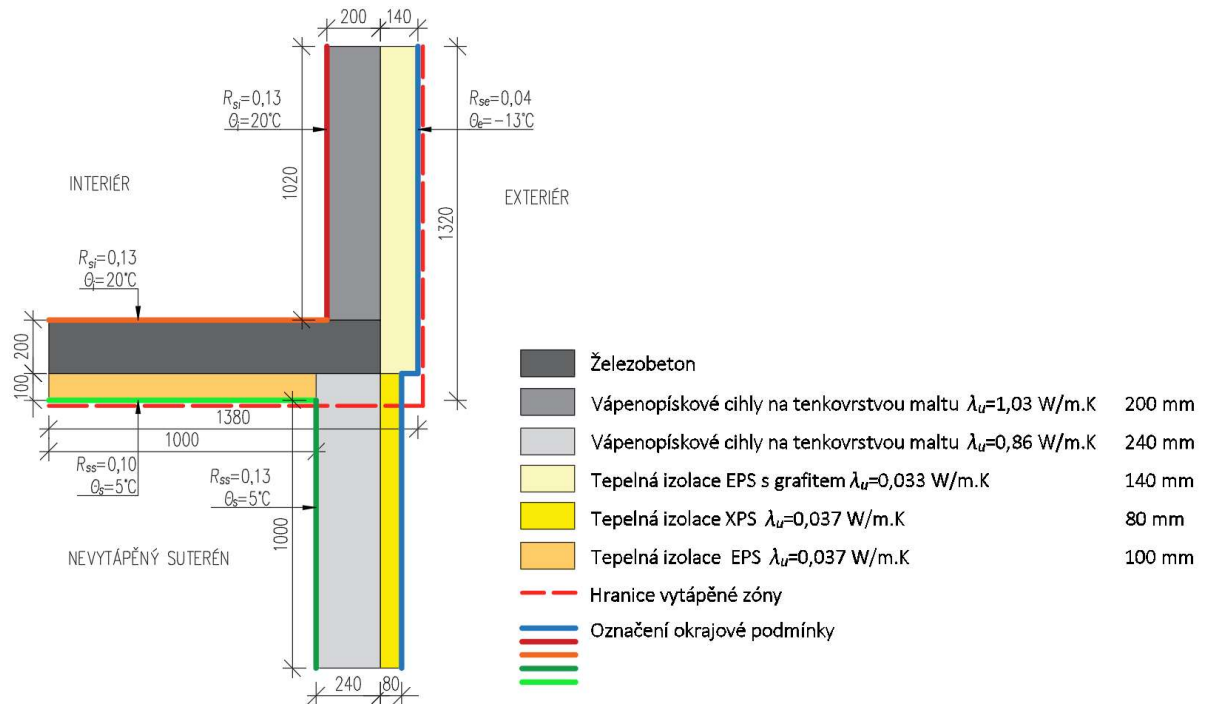


Obr. 33 - Výpočetní model pro zjištění lineárního činitele prostupu tepla detailu 8.1.

Pro zjištění lineárního činitele prostupu tepla zadáme do interiéru teplotu 1°C a do ostatních prostředí hodnotu 0°C. Odporů při přestupu tepla zůstávají stejné. [14]

Z protokolu o výpočtu zjistíme propustnost tepla z interiéru do exteriéru a suterénu. Z každé propustnosti se běžným způsobem vypočítají hodnoty lineárního činitele prostupu tepla. To znamená, že takto získáme dvě hodnoty (ψ_{ie} a ψ_{is}).

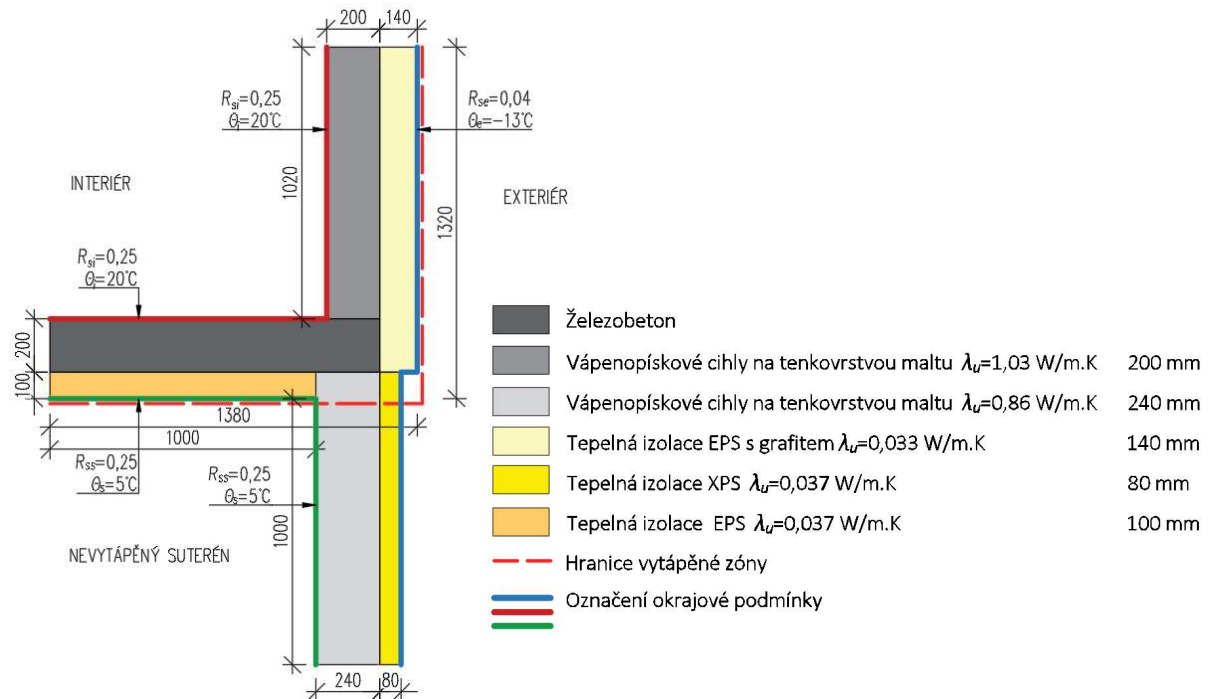
Výpočetní model pro zjištění hustoty tepelného toku a pro generování teplotního pole:



obr. 34 - Výpočetní model pro zjištění hustoty tepelného toku z interiéru

Z tohoto výpočetního modelu získáme teplotní pole a z protokolu o výpočtu zjistíme hustotu tepelného toku z interiéru Q_i . Tepelný tok nám udává množství tepla, které uniká detailem. Tato veličina nám pomůže při srovnávání variant, abychom mohli snadno porovnat jakou variantou uniká víc tepla (která je horší).

Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty:



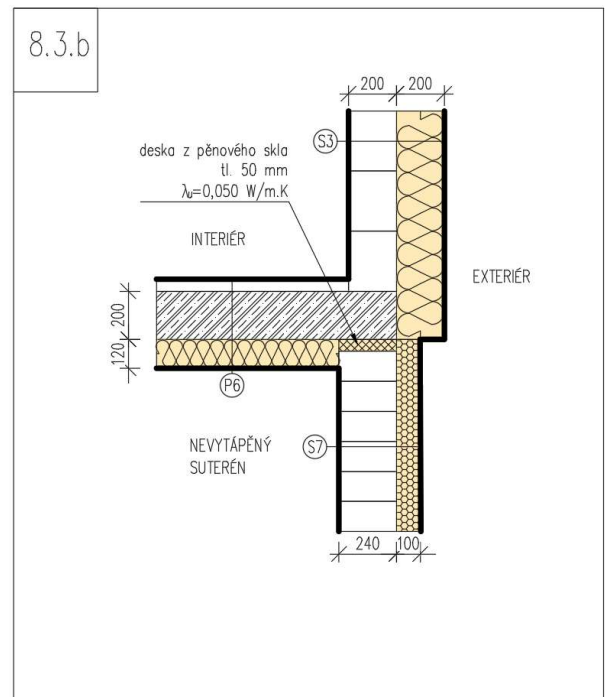
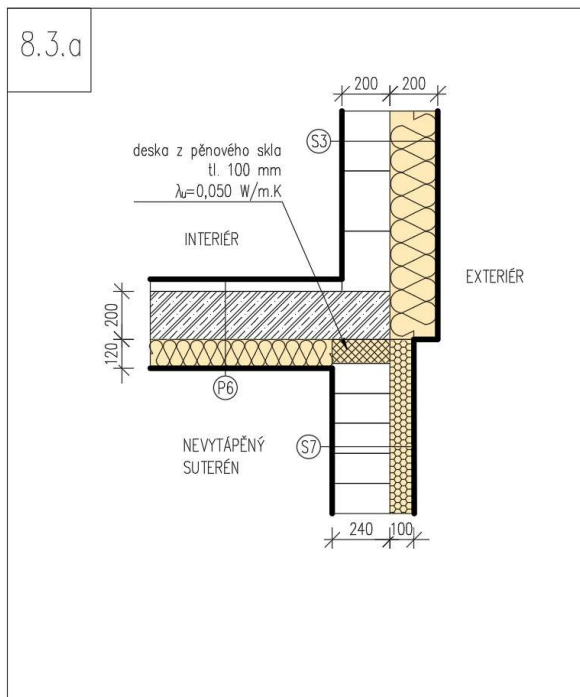
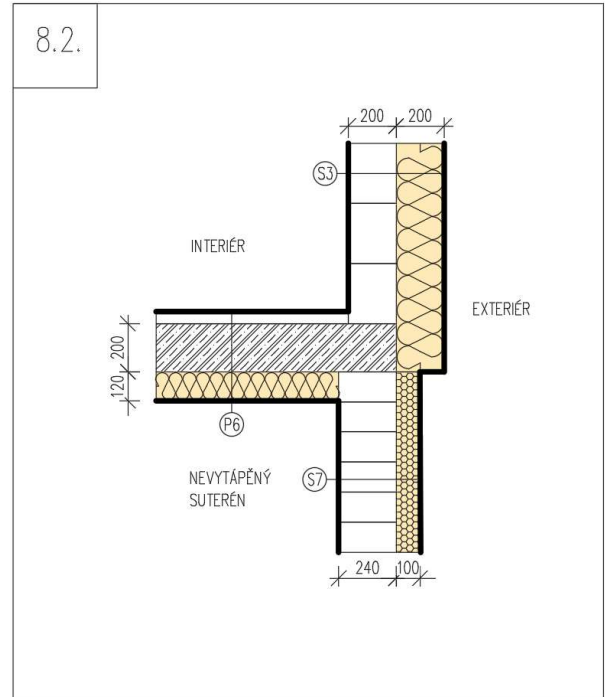
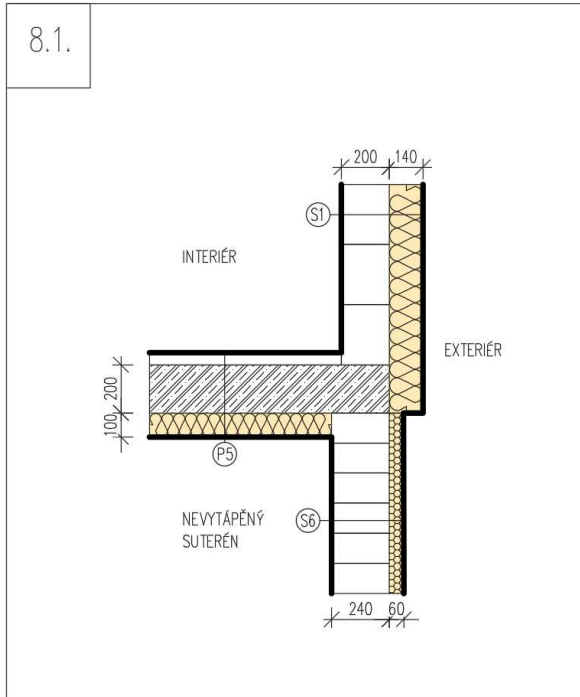
obr. 35 - Výpočetní model pro zjištění minimální vnitřní povrchové teploty detailu 8.1.

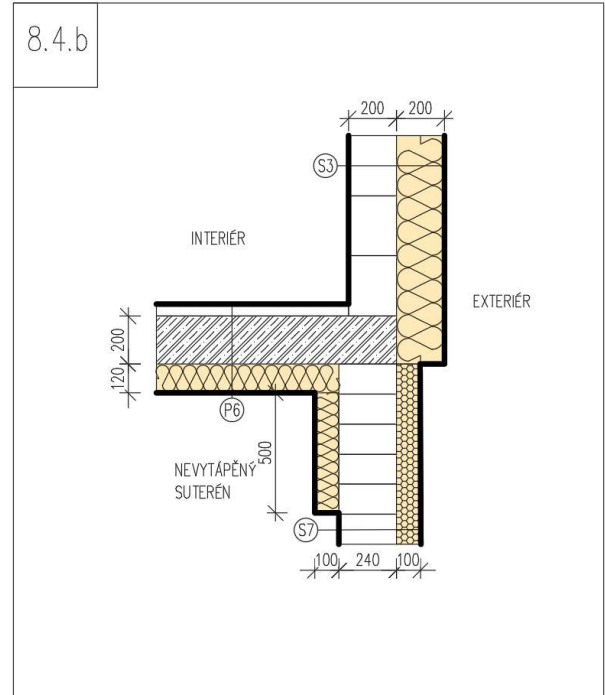
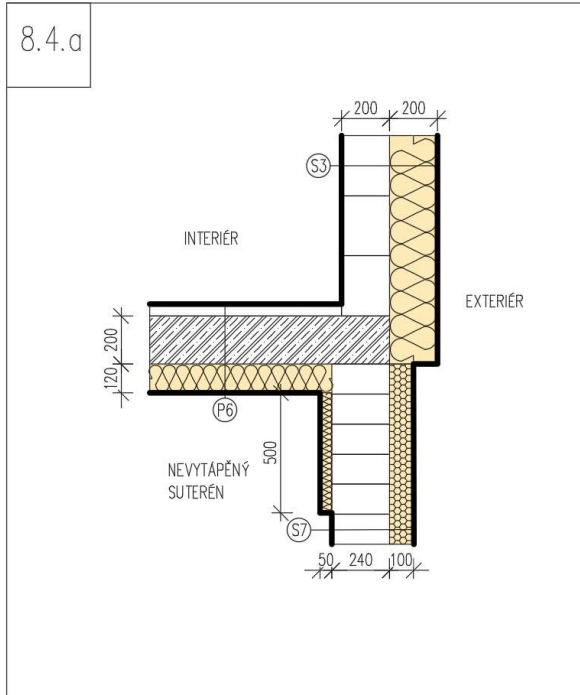
4.8.2. Zjednodušení

Jsou zanedbány vrstvy omítky, lepidla, a podlahy.

4.8.3. Konstrukční varianty

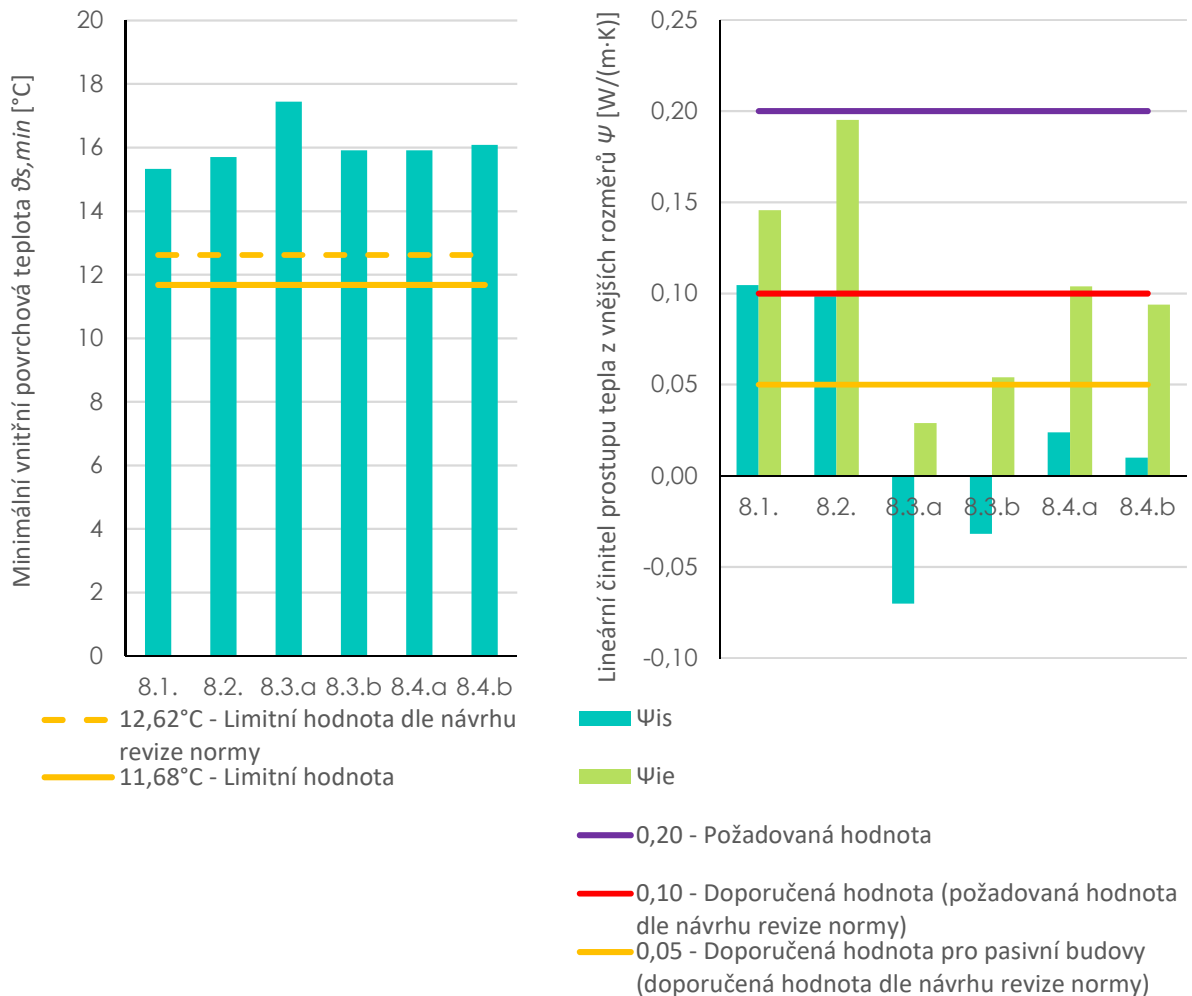
První varianta je klasické (nepasivní) řešení. Ostatní varianty jsou navrženy pro pasivní řešení. Nezabýváme se detailním návrhem konstrukčního řešení, ale zajímají nás rozměry nejdůležitějších konstrukčních prvků, které mají vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu.





4.8.4. Výsledky

V následujících grafech (obr.36) jsou zobrazeny výsledné hodnoty jednotlivých variant. V grafech jsou znázorněny také hranice doporučených a požadovaných hodnot. Jelikož je v návrhu revize normy, která tyto požadavky udává, tak jsou zde zároveň zobrazeny i hodnoty navrhované revize.



obr. 36 - Porovnání výsledných hodnot konstrukčních variant detailu 8

4.8.5. Dílčí závěr

Porovnání variant z hlediska hodnoty lineárního činitele prostupu tepla je komplikované, protože výpočtem získáme dvě hodnoty lineárního činitele prostupu tepla. Pro porovnání bychom potřebovali jednu hodnotu lineárního činitele prostupu tepla mezi interiérem a okolním prostředím. Jedná se o jakési přerozdělení tepelné propustnosti mezi exteriérem a suterén. Proto detaily porovnáváme pomocí hodnoty hustoty tepelného toku z interiéru do okolního prostředí Q_i (zahrnuje exteriér i suterén). Varianty **8.2.** - **8.4.b** byly navrženy se stejnou vzdáleností řezových rovin, díky tomu jsou mezi sebou porovnatelné.

Varianty **8.1.** a **8.2.** jsou klasickým příkladem řešení, kde je provedeno zateplení fasády (suterén je zateplen menší tloušťkou izolace) a k tomu je zateplen strop suterénu z dolní strany.

Nejlepším řešením je použití desky z pěnového skla pro přerušení tepelného mostu v hlavě suterénního zdiva, která nahradí vrchní vrstvu zdiva pod stropní deskou. Ve variantě **8.3.a** je použita deska tl. 100 mm a ve variantě **8.3.b** tl. 50 mm.

Ve variantě **8.4.a** je použito vnitřní zateplení výšky 500 mm a tl. 50 mm. Ve variantě **8.4.b** je použito vnitřní zateplení tl. 100 mm. Tato varianta je o poznání lepší než klasické řešení, ale také je horší než při použití pěnového skla. Takovéto řešení může být dobrou alternativou k drahému pěnovému sklu, nevýhodou použití jsou nevzhledné zuby v interiéru suterénu.

5. Závěr

V této práci se řešila problematika provedení klíčových stavebních detailů z hlediska minimální vnitřní povrchové teploty $\vartheta_{s,min}$ a lineárního činitele prostupu tepla ψ .

Každý detail byl vypočítán ve 2D teplotním poli, pro takovýto výpočet byl použit program Area 2017. Výstupem z programu jsou nejen hodnoty minimální povrchové teploty a lineárního činitele prostupu tepla, ale i grafický výstup průběhu teplot detailu ve 2D teplotním poli.

Tyto výsledky jsou uvedeny v katalogu detailů u každého detailu, na závěr všech variant detailu jsou grafy, které tyto hodnoty přehledně porovnávají. Katalog uvádí vlastnosti konstrukčních variant detailu, které lze mezi sebou snadno porovnat, což je výhodou oproti ostatním katalogům v dostupné literatuře. V ostatních literaturách se často setkáváme s nedostatečným popisem postupu výpočtu, také většinou chybí jakékoliv porovnání konstrukčních variant mezi sebou.

Vyhodnocení konstrukčních variant a jejich porovnání pomůže v praxi při rozhodování mezi konstrukčními variantami v prvotní fázi návrhu stavby. Takové porovnání může být přínosné také ve výuce, kde studenti většinou nemají přehled o možných řešeních detailů. To jim pomůže si uvědomit, jak správná volba konstrukčního řešení může mít vliv na tepelně-technické vlastnosti detailu. Zvolení správného řešení eliminuje riziko vzniku plísní a také snižuje energetickou náročnost budovy.

Výsledky uvedené v katalogu detailů se mohou aplikovat při výpočtu energetické náročnosti budovy. U detailu okna jsou výsledky pouze orientační a slouží pouze pro porovnání výhodnosti umístění okna. Hodnoty se od skutečnosti liší, protože jsme použili velmi zjednodušený výpočet. Konstrukce okna je zjednodušena na homogenní obdélník bez rozlišení konstrukce rámu a zasklení.

V následujícím textu jsou popsány nejčastější konstrukční varianty detailů a jejich výhody/nevýhody aplikace.

- **Použití ISO nosníku. (detail 2 a 5)**
 - Nevýhodou ISO nosníku je snížení hodnoty součinitele tepelné vodivosti vlivem procházející výztuže. Čím větší zatížení nosník přenáší, tím víc obsahuje výztuže a s tím souvisí i horší izolační vlastnosti. Nevýhodou je také vysoká cena a horší proveditelnost.
 - Dříve bylo použití ISO nosníků výhodné, protože byly nižší požadavky na konstrukce, izolace obvodové stěny byla menší a použití ISO nosníku tl. 120 mm bylo ideální. V dnešní době jsou konstrukce víc zateplené (v našem případě 200 mm izolace), ale ISO nosníky zůstaly stejné, proto se stávají slabším místem detailu.
 - Výhodou použití ISO nosníku u balkonu je to, že se nezvětšuje tloušťka balkonové konstrukce, což má pozitivní architektonické dopady.
 - I přes vypsání nedostatků je použití ISO nosníku v konstrukci balkonu téměř srovnatelné, jako bychom celý balkon obalili izolací tl. 200 mm (záleží na použitém typu).
 - Použití ISO nosníku v konstrukci atiky je mnohem lepší, než kdybychom atiku obalili izolací, ale v porovnání s dalšími alternativami bychom toto řešení příliš nedoporučovali. Jedná se o drahé a proveditelnost komplikované řešení.

- **Nahrazení části zdiva pórobetonovými tvárnici Ytong. (detaily 2,3,4 a 6)**
 - Použití pórobetonu je velmi efektivní a je dobrou alternativou ke klasickému řešení detailů. V některých případech (detail 4) je toto jediné řešení pro efektivní přerušení tepelného mostu.

- Použití pórobetonu je levné, snadno proveditelné. Je potřeba si také uvědomit, že pevnost v tlaku pórobetonového zdiva je asi 6x menší než vápenopískového (viz kapitola 3.1.). Nevýhodou pórobetonu je nasákavost, která snižuje pevnost zdiva v tlaku. S růstem vlhkosti se zhoršují tepelně-technické vlastnosti, nastávají objemové změny a s tím související poruchy. Proto se použití pórobetonového zdiva nedoporučuje do prostupů se zvýšenou vlhkostí.
- **Použití desky z pěnového skla pro přerušení tepelného mostu. (detaily 1 a 8).**
 - Použití desky z pěnového skla u detailu základu, nebo detailu stropu nad nevytápěným suterénem.
 - Deska z pěnového skla velmi efektivně přeruší tepelný most v patě, nebo v hlavě zdiva.
 - Pěnové sklo má asi 8x menší pevnost v tlaku než vápenopískové zdivo, použití tohoto prvku je nutné ověřit statickým výpočtem konkrétní budovy.
- **Nahrazení části detailu OSB konstrukcí vyplněnou tepelnou izolací. (detaily 2 a 6)**
 - Takovéto řešení je komplikovanější z hlediska proveditelnosti, ale na druhou stranu přináší velmi dobré výsledky. Jedná se o nejlepší řešení atiky a žebra stěny.
- **Obalení kritické části konstrukce tepelnou izolací. (detaily 2,4,5,6,8)**
 - Obalování konstrukcí zvětšuje tloušťku obalované konstrukce (především u balkonové desky to má zásadní vliv na vzhled budovy), u vnitřního zateplení tak vnikají nevzhledné ozuby.
 - Toto řešení je výhodné u žebra stěny (detail 6). V ostatních případech se toto řešení nevyplatí, protože by bylo třeba použít velkou tloušťku izolace o větších rozměrech.

Na závěr je nutno poznamenat, že výsledky je třeba brát s rezervou. U konkrétní budovy se výsledné hodnoty budou lišit vlivem odlišností v geometrii a použitých materiálech. Výsledné hodnoty a porovnání jsou užitečné při rozhodování mezi konstrukčními variantami v prvotní fázi projektu. Konkrétní hodnoty se mohou použít při výpočtu energetické náročnosti budovy jen u staveb se stejnými vlastnostmi jako posuzovaný detail.

Seznam literatury

- [1] Technické listy k výrobkům Isover společnosti Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., dostupné k 3/2019 na www.e-isover.cz
- [2] Technické listy k výrobkům Sendwix společnosti KM Beta a.s. dostupné k 3/2019 na www.sendwix.cz
- [3] Technické listy a prospekty k výrobku FOAMGLAS PERINSUL společnosti Pittsburgh Corning CR, s.r.o.
dostupné k 3/2019 na cz.foamglas.com
- [4] Technické listy k výrobkům A-GLASS společnosti A-GLASS Recycling s.r.o. dostupné k 3/2019 na www.a-glass.cz
- [5] Technické listy k výrobkům Ytong společnosti Xella CZ s.r.o. dostupné k 3/2019 na www.ytong.cz
- [6] ČSN 73 0540-2:2011, Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- [7] ČSN 73 0540-3:2005, Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin
- [8] ČSN 73 0540-4:2005, Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody
- [9] ČSN EN ISO 10211:2017, Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích-Tepelné toky a povrchové teploty-Podrobné výpočty
- [10] Studijní materiály od doc. Dr. Ing. Zbyňka Svobody, dostupné na webu Katedry konstrukcí pozemních staveb <https://kps.fsv.cvut.cz/> dostupné k 4/2019
jedná se o soubor: Hodnocení lineárního činitele prostupu tepla
- [11] Stavebně-fyzikální parametry Schöck Isokorb®, vydané společností Schöck-Wittek s.r.o. Veleslavínova 8 746 01 Opava, dostupné k 4/2019 na www.schoeck-wittek.cz
- [12] Technické informace dle Eurokódu Schöck Isokorb®, vydané společností Schöck-Wittek s.r.o. Veleslavínova 8 746 01 Opava, dostupné k 5/2019 na www.schoeck-wittek.cz
- [13] Kasal, Pavel. Předsazená montáž oken. Praha: ČVUT 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- [14] Manuál k programu Area 2017 dostupný k 4/2019 na webu <https://kps.fsv.cvut.cz/>
- [15] Metodický pokyn k upřesnění výpočetních postupů okrajových podmínek pro podprogram Nová zelená úsporám-RODINNÉ DOMY v rámci 3. Výzvy k podávání žádostí dostupné k 3/2019 na webu www.novazelenausporam.cz
- [16] Hazucha J., Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy, Grada Publishing, a.s., 2016
- [17] Okna Vekra <https://www.vekra.cz/produkt/okna-komfort-evo/>
- [18] ČSN EN ISO 6946:2018, Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda
- [19] Návrh revize normy ČSN 73 0540-2, Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
Byly poskytnuty pouze strany týkající se požadavků na lineární činitel prostupu tepla a minimální povrchovou teplotu odpovídající kritickému teplotnímu faktoru

[20] Květoň, V. Normály teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-2000 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000. NKP ČR 30, ČHMÚ 2001

Seznam příloh

Příloha 1- Katalog detailů