

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

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



**Hodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty kritického detailu při
dodatečném zateplení stropu nevytápěného suterénu bytového domu.**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

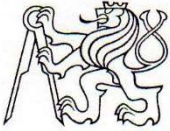
Vypracovala:

Lyudmyla Sargalogo

Vedoucí:

Ing. Jiří Novák, Ph.D.

2018/2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sargalogo Jméno: Lyudmyla Osobní číslo: 458650
Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb - K124
Studijní program: Stavební inženýrství (SI) - B3651
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb C - 3608R008

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Hodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty kritického detailu při dodatečném zateplení stropu nevytápěného suterénu bytového domu.

Název bakalářské práce anglicky: Assment of the lowest internal surface temperature of a critical detail after additional thermal insulation of the ceiling of an unheated basement.

Pokyny pro vypracování:

Stanovení okrajové podmínky - výpočet teploty v suterénu.

Výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty v ustáleném stavu.

Návrh řešení detailu na základě předchozích výpočtu, výpočtové ověření navržených variant.

Výpočtové ověření nejnižší vnitřní povrchové teploty v neustáleném stavu.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 10211

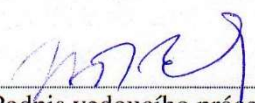
ČSN EN ISO 13370

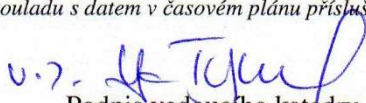
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 5.2.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 27.05.2019

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“.

20.2.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

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

V Praze, dne 26.5.2019

.....

podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Novákovi Ph.D. za výborné vedení, odborné rady a trpělivost při tvorbě mé bakalářské práce. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a snoubenci za podporu.

Abstrakt

Úkolem této bakalářské práce je určit vnitřní teplotu vzduchu nevytápěného suterénu ve stávajícím stavu a v navrhovaném stavu se zatepleným stropem suterénu. Následně se stanoví nejnižší vnitřní povrchové teploty vytápěného podlaží nad suterénem v ustáleném stavu na konkrétním řešeném detailu. Řešený detail se nachází mezi nadzemním podlažím a suterénem v místě balkonu, který není zateplený. Dále jsou navrženy varianty řešení kritického detailu a je určena ta nejlepší varianta tohoto řešení. Nakonec se ověřuje, zda vybrané řešení vyhovuje v neustáleném stavu. Také se zjistí, zda v neustáleném stavu nastanou předpokládané okrajové podmínky uvažované v ustáleném stavu.

Klíčová slova

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

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to determine the internal temperature of the unheated basement in the current state and in the proposed state with insulated basement ceiling. Subsequently, the lowest internal surface temperatures of the heated floor above the basement are determined in a steady state on a specific detail. The detail is located between the above-ground floor and the basement in the place of the balcony, which is not insulated. In addition, variants of critical detail solutions are designed and the best variant of this solution is determined. Finally, it is checked whether the selected solution is in a steady state. It is also determined whether steady state contemplated boundary conditions occur in the unsteady state.

Keywords

Air temperature, additional insulation, lowest internal surface temperature, steady state, risk of mold formation, condensation, boundary conditions, 2D temperature field, unsteady state, detail optimization, dynamic simulation.

Obsah

1. Cíle práce.....	9
2. Specifikace zadání	10
3. Výpočet teploty v suterénu	11
3.1. Proč je teplota počítána	11
3.2. Varianty výpočtu	11
3.3. Metody výpočtu	12
3.4. Vstupní údaje	17
3.5. Zjednodušení a úpravy	20
3.6. Výsledky výpočtů teploty v suterénu	21
3.7. Vyhodnocení výsledků	23
3.8. Dílčí závěr	25
4. Nejnižší vnitřní povrchové teploty	26
4.1. Proč jsou teploty počítány	26
4.2. Varianty výpočtu	27
4.3. Metody výpočtu	29
4.4. Vstupní údaje	30
4.5. Zjednodušení a úpravy	30
4.6. Výsledky a jejich vyhodnocení	31
4.7. Dílčí závěr	31
5. Návrh řešení detailu	32
5.1. Proč jsou navrhována řešení detailu	32
5.2. Varianty řešení	32
5.3. Metody výpočtu	36
5.4. Vstupní údaje	36
5.5. Zjednodušení a úpravy	36
5.6. Výsledky výpočtu a jejich vyhodnocení.....	37
5.7. Dílčí závěr	38
6. Výpočtové ověření nejnižší vnitřní povrchové teploty v neustáleném stavu	39
6.1. Zdůvodnění prováděných výpočtů.....	39
6.2. Varianty řešení	39
6.3. Metody výpočtů	39
6.4. Vstupní údaje	40

6.5. Zjednodušení a úpravy	41
6.6. Výsledky výpočtů.....	42
6.7. Dílčí závěr	46
7. Závěr.....	47

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Výpočet potrubí	52
1. Potrubí s původní tepelnou izolací.....	52
2. Potrubí s novou tepelnou izolací.....	54
3. Porovnání výsledků	57
Příloha č. 2 - výpočet teploty vzduchu v suterénu z výpočtových hodnot	58
1. Vstupní hodnoty.....	58
2. Tepelné toky.....	60
Příloha č. 3.....	61
1. Výpočty teplot vzduchu v suterénu po měsících	62
2. Citlivostní analýza pro měsíce duben až září.....	63
Příloha č. 4.....	65
Příloha č. 5.....	66
Příloha č. 6.....	72
Příloha č. 7.....	75
1. Vstupní hodnoty.....	75
2. Výpočet počátečních hodnot sinusoidy	78

Seznam použitých veličin

ZNAČENÍ	VELIČINA	JEDNOTKA
A	Plocha podlahy	m^2
B'	Charakteristický rozměr podlahy	m
c	Měrná tepelná kapacita	$J/(kgK)$
d	Tloušťka konstrukce	m
d_t	Celková ekvivalentní tloušťka – podlahy na terénu	m
d_w	Celková ekvivalentní tloušťka – stěny suterénu	m
H_g	Ustálený měrný tepelný tok zeminou	W/K
P	Obvod podlahy (exponovaný)	m
R	Tepelný odpor	m^2K/W
R_w	Tepelný odpor stěnové konstrukce	m^2K/W
R_f	Tepelný odpor podlahové konstrukce	m^2K/W
R_{si}	Odpor na přestupu tepla na vnitřní straně	m^2K/W
R_{se}	Odpor na přestupu tepla na vnější straně	m^2K/W
U	Součinitel prostupu tepla mezi vnitřním a vnějším prostředím	$W/(m^2K)$
U_{bf}	Součinitel prostupu tepla podlahy suterénu	$W/(m^2K)$
U_{bw}	Součinitel prostupu tepla stěny suterénu	$W/(m^2K)$
U'	Efektivní součinitel přestupu tepla celého suterénu	$W/(m^2K)$
w	Tloušťka vnější stěny	m
z	Hloubka povrchu podlahy pod úrovní terénu	m
Φ	Tepelný tok	W
λ	Součinitel tepelné vodivosti	$W/(mK)$
ρ	Objemová hmotnost	kg/m^3
ϑ	Teplota	$^{\circ}C$
Ψ_g	Lineární ztrátový součinitel styku stěny a podlahy	$W/(mK)$
H_g	Ustálený měrný tepelný tok	W/K
H_{pi}	Vnitřní periodický tepelný tok	W/K
H_{pe}	Venkovní periodický tepelný tok	W/K
δ	Periodická hloubka průniku	m
H	Měrná tepelná ztráta	W/K
ϑ_{im}	Průměrná měsíční teplota vnitřního vzduchu v měsíci m	$^{\circ}C$
$\bar{\vartheta}_i$	Průměrná roční teplota vnitřního vzduchu	$^{\circ}C$
ϑ_{em}	Průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu v měsíci m	$^{\circ}C$
$\bar{\vartheta}_e$	Průměrná roční teplota venkovního vzduchu	$^{\circ}C$

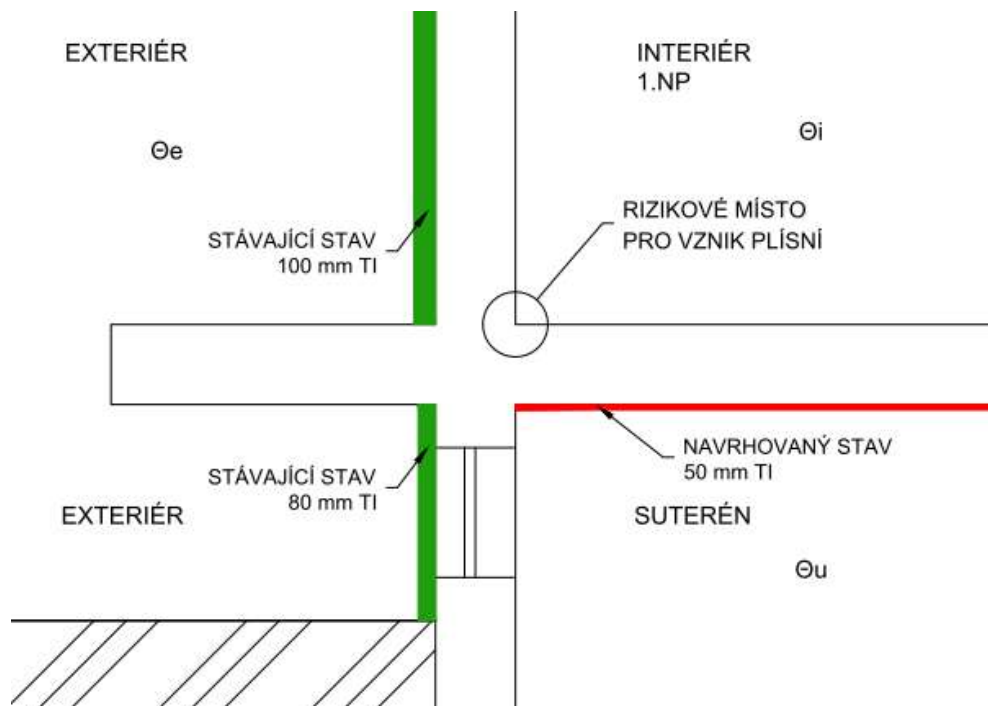
1. Cíle práce

V bytovém domě s dodatečnou kontaktní tepelnou izolací obvodových stěn je navrženo dodatečné zateplení stropní konstrukce suterénu. Cílem této práce je zjistit, zda navržené zateplení stropní konstrukce způsobí snížení vnitřní povrchové teploty stěny nad suterénem tak, že dojde k riziku vzniku plísní. Součástí domu jsou nezateplené betonové balkóny a nachází se i v místě mezi suterénem a obytným podlažím. Největší riziko je v místě napojení balkonu. Jsou provedeny výpočty v ustáleném stavu z návrhových hodnot a průměrných měsíčních hodnot teplot exteriéru. Výpočty zjišťují, zda navržené zateplení stropu v suterénu má vliv na teplotu vzduchu suterénu oproti stávajícímu stavu. Poté je provedena citlivostní analýza těchto výpočtů, aby se dosáhlo co nejrealističtějších výsledků.

Z nejnižších průměrných měsíčních hodnot citlivostní analýzy se stanoví vliv teploty vzduchu v suterénu na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu vytápěného podlaží nad suterénem na kritickém detailu. Také jsou zkoumány nejnižší vnitřní povrchové teploty pro alternativní varianty, ve kterých se předpokládají poklesy hodnot teploty jak vnějšího prostředí, tak i nevytápěného suterénu. Řešený detail se nachází mezi nadzemním podlažím a suterénem v místě balkonu, který není zateplený viz. obrázek 1.

Pro nejhorší možnou variantu vnitřní povrchové teploty jsou navrženy a výpočtově ověřeny různé varianty řešení kritického detailu. Je vybrána jedna nejvhodnější a nejjednodušší varianta řešení tohoto detailu.

Nakonec jsou provedeny ověřovací výpočty v neustáleném stavu. Výpočty zkoumají nejnižší vnitřní povrchovou teplotu kritického detailu a ověřují správnost odhadovaných okrajových podmínek pro ustálený stav. Tyto výpočty jsou rozhodující pro správné řešení kritického detailu.



Obrázek 1 - schéma kritického detailu

2. Specifikace zadání

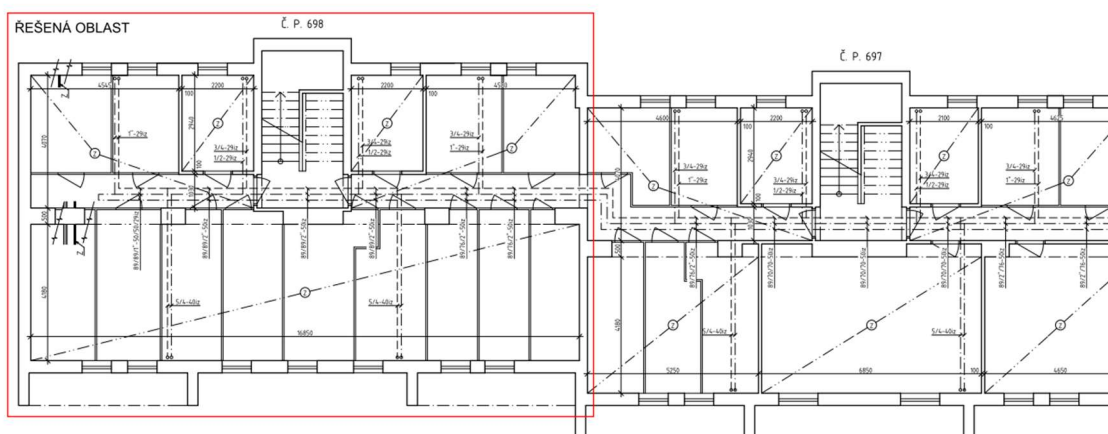
Podkladem pro tuto bakalářskou práci je projektová dokumentace, která je vypracovaná za účelem získání územního souhlasu. Předmětem této dokumentace je změna dokončené stavby neboli stavební úprava pro dodatečné zateplení obvodového pláště. v této dokumentace jsou tloušťky provedeného zateplení, rozložení fasády a typický půdorys s jeho rozměry.

Dalším podkladem je „Dokumentace pro provádění stavby - snížení energetické náročnosti bytového domu“. V této dokumentaci je navrženo zateplení stropní konstrukce suterénu o tloušťce 50 mm a zateplení otopného potrubí. Z půdorysu jsou zřetelné tarasy potrubí, jeho délka a rozměry. V příloze této dokumentace jsou stanoveny některé materiálové parametry konstrukce, které jsou do této práce přebrány.

K dispozici jsou také teploty vzduchu v suterénu a venkovní teploty vzduchu naměřené v období od 24. ledna 2018 do 20. dubna 2018. Místo měření je označeno na obrázku 5 tyto hodnoty jsou zobrazeny v grafu 1 nacházející se v kapitole 3.

Bytový dům je součástí komplexu tří bytových domů na sebe navazujících. Nachází se na krajní západní straně. Budova má čtyři nadzemní podlaží. Na severní straně se nachází hlavní vchod napojený na schodišťový prostor.

V řešeném objektu se nachází polozapuštěný suterén, na který nahoře navazuje obytné podlaží. V obytném podlaží se nachází balkon/lodžie. Budova původně nebyla zateplená, ale nyní je dodatečně zateplená kontaktním zateplovacím systémem o tloušťce izolace 100 mm celá budova a 80 mm u soklu. Nyní se plánuje provedení dodatečného zateplení stropní konstrukce mezi obytným vytápěným podlažím a nevytápěným suterénem. V suterénu se také nachází vnitřní zdroje tepla v podobě otopného potrubí, které zajišťuje přívod tepla do celé budovy a je zatepleno starou izolací v nevyhovujícím stavu. Potrubí při provedení zateplení stropní konstrukce bude opatřeno novou izolací.



Obrázek 2 - podklad půdorysu 1.PP [1]

3. Výpočet teploty v suterénu

3.1. Proč je teplota počítána

Přepokládá se, že teplota vzduchu v suterénu se po zateplení stropní konstrukce výrazně sníží. Poklesem teploty vzduchu v suterénu se bude ochlazovat i řešený kritický detail. Ochlazování detailu má za následek snížení vnitřní povrchové teploty obvodové konstrukce podlaží nad suterénem. Snížení této teploty může vést ke vzniku plísní nebo dokonce ke kondenzaci vodní páry na konstrukci. Tento stav je nežádoucí, proto je nutné teplotu vzduchu v suterénu zjistit. Teplota vzduchu v suterénu je následně použita jako okrajová podmínka pro výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty.

Do výpočtů nelze použít normovou hodnotu teploty vzduchu v suterénu jako okrajovou podmínku. Pro zjištění vnitřní povrchové teploty je potřeba znát co nejpřesnější hodnotu teploty vzduchu v suterénu. Tato teplota je závislá na venkovní teplotě a okolních konstrukcích suterénu, kterými teplo uniká nebo je jimi přiváděno viz obrázek 3. Norma uvažuje s jednou konstantní teplotou, a proto není schopná vyjádřit, jak se teplota vzduchu v suterénu změní po zateplení stropní konstrukce.

3.2. Varianty výpočtu

Ve výpočtech je uvažováno se čtyřmi variantami. Každá z těchto variant vyjadřuje stav objektu při různých okrajových podmínkách a s různými vstupními údaji. Tyto varianty jsou:

A. Stávající stav

- zateplená budova
- nezateplený strop
- potrubí opatření původní tepelnou izolací (vnitřní zdroj tepla)

B. Nový stav

- zateplená budova
- zateplený strop
- nově zateplené potrubí (vnitřní zdroj tepla)

C. Nový stav 2

- zateplená budova
- zateplený strop
- zanedbány tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla

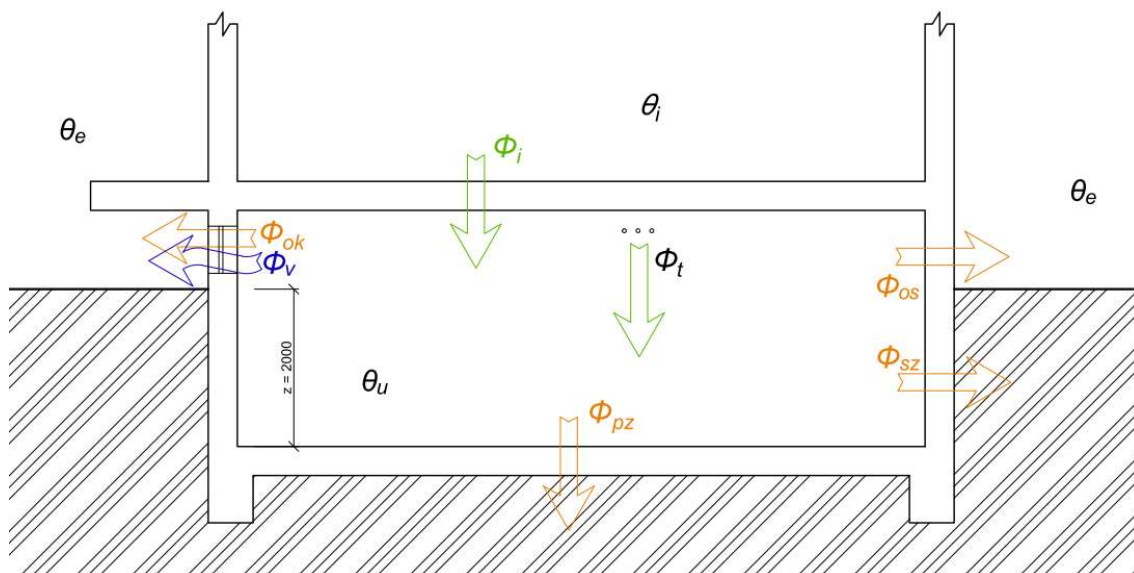
D. Stávající stav měřený

- pouze pro ověření správnosti výpočtů
- měřené hodnoty teplot vzduchu v suterénu i vnějších teplot v průběhu od 24. ledna 2018 do 20. dubna 2018 po půlhodinách
- průměrná hodnota venkovních teplot jako okrajová podmínka a průměrná hodnota vnitřních teplot pro porovnání s vypočtenou hodnotou

3.3. Metody výpočtu

Teplota v suterénu je počítána na základě bilance tepelných toků pro nevytápěný prostor, kde každý tok představuje únik tepla z místnosti konstrukcemi směrem do vnějšího prostředí nebo přísun tepla dle vzorce:

$$\Phi_i + \Phi_t = \Phi_{os} + \Phi_{ok} + \Phi_v + \Phi_{pz} + \Phi_{sz} \quad (1)$$



Obrázek 3 - schéma tepelných toků – řez

V každém tepelném toku je obsažena jediná neznámá hodnota ϑ_u , která představuje hledanou teplotu vzduchu suterénu. Jednotlivé tepelné toky jejich označení s popisem a vzorce jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1 - tabulka tepelných toků

OZN	POPIS	Vzorec
Φ_i	Stropní konstrukcí z interiéru	$U_{str} * A_{str} * (\vartheta_i - \vartheta_u)$
Φ_t	Topné potrubí	$H_1 * (\vartheta_{t1} - \vartheta_u) + H_2 * (\vartheta_{t2} - \vartheta_u)$
Φ_{st}	Obvodové stěny	$U_{st} * A_{st} * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_{ok}	Okna	$U_{ok} * A_{ok} * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_v	Větrání	$n * \rho * V * c * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_{pz}	Podlaha v kontaktu se zeminou	$U_{bf} * A_{str} * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_{sz}	Stěna v kontaktu se zeminou	$U_{bw} * Z * P * (\vartheta_u - \vartheta_e)$

Pro výpočet teploty vzduchu v suterénu je nejprve zapotřebí vypočítat každý jednotlivý tepelný tok vstupující do výpočtu. Proto je nejprve nutné vypočítat nebo zjistit hodnoty veličin potřebných pro výpočet tepelných toků. Po dosažení všech tepelných toků do bilanční rovnice se vypočte teplota vzduchu v suterénu.

3.3.1. Tepelné toky zeminou

Hodnoty potřebné pro výpočet tepelných toků zeminou jsou zjišťovány pomocí vzorců určujících součinitele prostupu tepla konstrukcí z normy ČSN EN ISO 13370.

Součinitel prostupu tepla podlahy na terénu [2]

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right) \quad (2)$$

Součinitel prostupu tepla stěn suterénu v kontaktu se zeminou

Tento vztah zohledňuje jak ekvivalentní tloušťku podlahy na terénu d_t tak ekvivalentní tloušťku stěny v kontaktu se zeminou d_w . To platí v případě, že $d_w \geq d_t$. Pokud je $d_w < d_t$ nahradí se veličina d_t veličinou d_w . [2]

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (3)$$

Charakteristický rozměr podlahy

Používá se pro zohlednění trojrozměrného tepelného toku v zemině. Vypočítá se z plochy a obvodu podlahy na zemině bez započítané tloušťky obvodových stěn. Pro nekonečně dlouhou podlahu se B' uvažuje jako šířka podlahy (tento případ). [2]

Ekvivalentní tloušťka podlahy

Tloušťka zeminy odpovídající tepelnému odporu uvažované podlahy v kontaktu se zeminou. [2]

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (4)$$

Ekvivalentní tloušťka stěny suterénu pod úrovní terénu

Tloušťka zeminy odpovídající tepelnému odporu uvažované stěny suterénu pod úrovní terénu. [2]

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (5)$$

3.3.2. Tepelné toky od potrubí

Součinitel prostupu tepla potrubí

Je určen výpočtem dle vyhlášky č. 193/2007 Sb. Vyjadřuje kolik energie pronikne přes potrubí o délce 1 m při rozdílu teplot 1 K dle vztahu (6).

$$U_0 = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_t} \cdot \ln \frac{d}{d - 2 \cdot s_t} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D}} \quad (6)$$

3.3.3. Tepelné toky ostatních konstrukcí

Tepelné odpory a součinitel prostupu tepla ostatních konstrukcí jsou určovány pomocí vzorců z normy ČSN EN ISO 6946.

3.3.4. Venkovní teploty

Pro výpočet v ustáleném stavu je použita venkovní návrhová teplota dle tabulky z ČSN 06 0210 uvádějící hodnoty teplot v jednotlivých městech nebo okresech.

Výpočtové varianty jsou následně počítány po měsících. Použité hodnoty měsíčních teplot jsou ze dvou zdrojů. První zdroj – data převzaty z publikace NKP ČR 30 - V. Květoň určující průměrnou měsíční teplotu v hodnoceném místě (Beroun – Dobřichovice) [3]. Druhý zdroj – český hydrometeorologický ústav, kde se jedná o průměrné měsíční teploty ze skutečně naměřených hodnot v období od 1981-2010. [4]

3.3.5. Měsíční tepelný tok zeminou při průměrné měsíční teplotě

Ve výpočtech s měsíčními průměrnými venkovními teplotami se musí uvažovat s vlivem tepelné setrvačnosti zeminy. Šíření tepla se vyjádří pomocí ustálené střední hodnoty spolu s ročním periodickým proměnlivým členem. Ustálená hodnota závisí na rozdílu ročních průměrných hodnot vnitřní a venkovní teploty. Periodický člen závisí na amplitudě kolísání vnitřní a venkovní teploty okolo jejich průměrných hodnot. Měsíční tepelný tok se vypočítá dle vztahu (7), ve kterém se uvažují fázové rozdíly α a β rovné nule. [2]

$$\Phi_m = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi}(\bar{\theta}_i - \theta_{im}) + H_{pe}(\bar{\theta}_e - \theta_{em}) \quad (7)$$

Ustálený měrný tepelný tok zeminou z vnitřního prostředí do venkovního prostředí vztahem (8). Rovnice udává tepelný tok celého suterénu. Tepelný tok přes podlahu a stěny suterénu je vnitřně provázán, a z toho důvodu jsou první dva členy ve vztahu přibližným odhadem pro tepelný tok podlahy a stěn. [2]

$$H_g = (AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (P\Psi_g) \quad (8)$$

Měrné tepelné toky určené pro neizolovanou konstrukci na terénu v důsledku kolísání vnitřní teploty po dobu ročního cyklu. [2]

Vnitřní periodický měrný tepelný tok je daný vztahem (9).

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \delta/d_t\right)^2 + 1}} \quad (9)$$

Vnější periodický měrný tepelný tok je daný vztahem (10).

$$H_{pe} = 0,37 * P\lambda \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad (10)$$

Periodická hloubka průniku

Vztahují se na ní periodické tepelné propustnosti. Je to hloubka, která představuje snížení teplotní amplitudy o $1/e$ násobek hodnoty na povrchu, kde e je základem přirozených logaritmů. Pro roční cyklus je dána vztahem (11). [2]

$$\delta = \sqrt{\frac{3,15 * 10^7 * \lambda}{\pi\rho c}} \quad (11)$$

3.3.6. Citlivostní analýza

Jedná se o metodu výpočtů, která zkoumá nejistotu výsledků vyplývající z nepřesnosti vstupních veličin používaných ve výpočtech tepelných toků. Stanovuje rozsah vlivu změny jednotlivých vstupních údajů na výsledky, a tím určuje důležitost jednotlivých veličin. Umožňuje také určit vliv kombinace změněných vstupních veličin na výsledky.

Jsou učiněny úpravy tepelně technických vlastností čtyř hlavních konstrukcí vstupujících do výpočtů. Zvýší se intenzita větrání z $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$ na $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$, také se provede zhoršení součinitele prostupu tepla U stropní konstrukce o 20 %, obvodové konstrukce o 25 % a oken z hodnoty $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ na hodnotu $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Do výpočtu jsou zahrnuty hodnoty z druhého zdroje venkovních teplot dle ČHMÚ. Hodnoty jsou počítány v rozmezí šesti nejchladnějších měsíců od října do března.

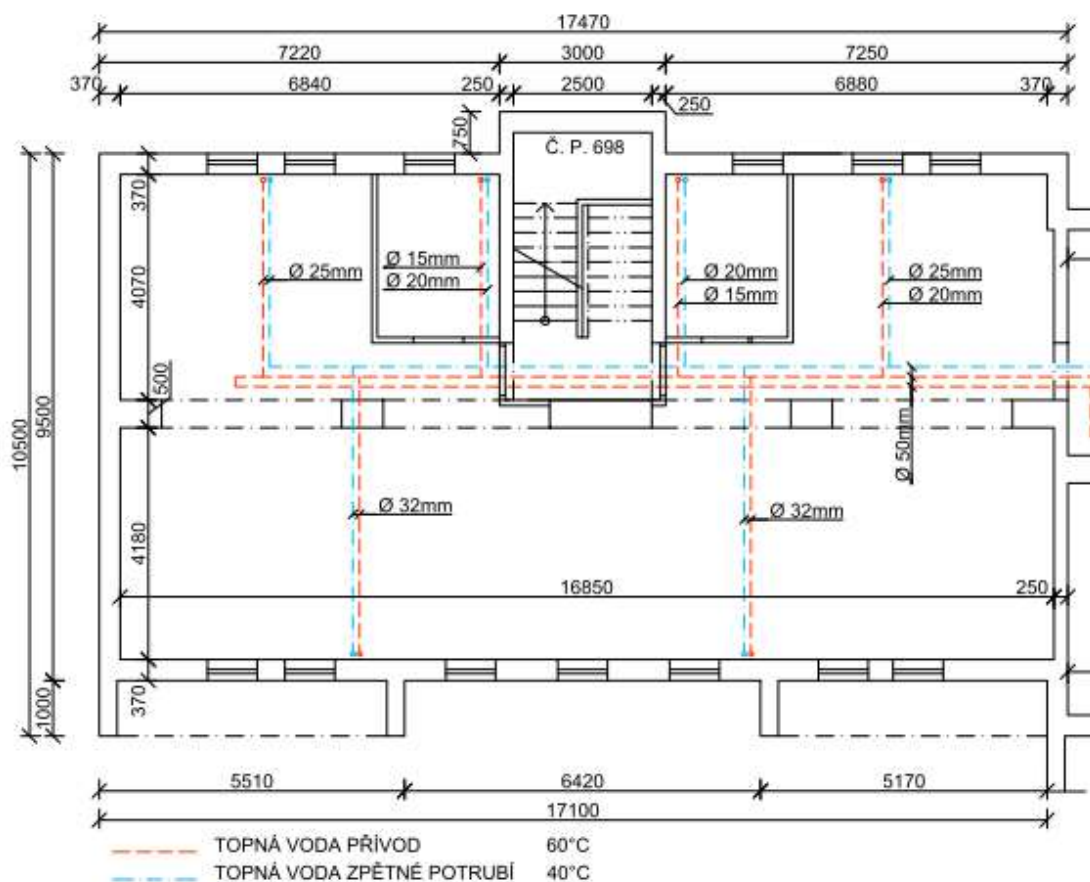
Účelem analýzy nejistoty je vymezit v jakém rozpětí se mohou pohybovat teploty vzduchu v suterénu. Také pomáhá určit pravdivost výpočtů a jejich výsledků, jelikož skutečné hodnoty vstupních údajů nejsou známy. Analýza je použita s cílem dosáhnout co nejreálnějších výsledků. Provádí se jako poslední krok ve výpočtech, který navazuje na již vypočtené hodnoty.

Tabulka 2 - popis variant citlivostní analýzy

Ozn.	Popis
NKP	Venkovní teploty převzaty z publikace NKP ČR 30 - V. Květoň (výchozí hodnoty)
ČHMÚ	Venkovní teploty z ČHMÚ
A1	Zvýšení intenzity větrání
A2	Zvýšení součinitele prostupu tepla okny
A3	Zvýšení součinitele prostupu tepla obvodovými stěnami
A4	Zvýšení součinitele prostupu tepla stropní konstrukcí
K1	Kombinace A1 + A2
K2	Kombinace A2 + A3 + A4
K3	Kombinace A1 + A3 + A4
K4	Kombinace A1 + A2 + A4
K5	Kombinace A1 + A2 + A3
K6	Kombinace A1 + A2 + A3 + A4

3.4. Vstupní údaje

Průměry topného potrubí, jejich délky a účel jsou stanoveny z Dokumentace pro provádění stavby - snížení energetické náročnosti bytového domu. [1]



Obrázek 4 - půdorysné schéma s kótami a průměry potrubí [1]

Pro výpočet tepelných toků od topného potrubí je potřeba znát vnitřní a vnější průměry. V tabulce 6 jsou ke každému DN ocelového potrubí tyto rozměry přiřazeny.

Tabulka 3 - přehled velikostí trubek, jejich rozměrů a hmotností [5] [6]

OCELOVÉ TRUBKY ZÁVITOVÉ BĚŽNÉ									
Jmen. světlost v mm		Jmen. světlost v palcích	Vnější průměr trubky	Tloušťka stěny trubky	Vnitřní průměr trubky	Objem 1,0m trubky	Světý průřez trubky	Povrch 1,0m trubky	Hmotnost 1,0m trubky
DN		DN	D	t	d ₁	V	A	S	M
[mm]		["]	[mm]	[mm]	[mm]	[dm ³ /m]	[m ² ·10 ⁻⁴]	[m ² /m]	[kg/m]
10	×	3/8	17,10	2,35	12,40	0,1208	1,2076	0,0537	0,855
15	×	1/2	21,40	2,65	16,10	0,2036	2,0358	0,0672	1,225
20	×	3/4	26,90	2,65	21,60	0,3664	3,6644	0,0845	1,585
25	×	1	33,70	3,25	27,20	0,5811	5,8107	0,1059	2,441
32	×	5/4	42,40	3,25	35,90	1,0122	10,1223	0,1332	3,138
40	×	6/4	48,30	3,25	41,80	1,3723	13,7228	0,1517	3,611
50	×	2	60,20	3,65	52,90	2,1979	21,9787	0,1891	5,090

Tabulka 4 - požadované hodnoty součinitele prostupu tepla potrubím [7]

DN	10 až 15	20 až 32	40 až 65	80 až 125	150 až 200
U [W/mK]	0,15	0,18	0,27	0,34	0,40

Tepelné odpory při přestupu tepla

Pro výpočty teploty v suterénu jsou odpory při přestupu tepla uvažovány pro běžné podmínky dle normy ČSN EN ISO 6946.

Tabulka 5 - tepelné odpory při přestupu tepla [8]

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

Návrhové teploty

Tato budova se nachází v Dobřichovicích, a proto všechny výpočty a posudky budou provedeny pro místo jemu nejbližší (Beroun). Návrhová teplota interiéru $\vartheta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ a návrhová venkovní teplota $\vartheta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ dle ČSN 730540-3.

Měsíční venkovní teploty vzduchu

Tabulka 6 - tabulka průměrných měsíčních teplot vzduchu roku 2018 ve srovnání s normálem 1981–2010 [4]

Kraj		Měsíc												rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Praha a Středočeský	T	2,9	-2,6	1,5	13,2	16,9	18,2	20,8	21,6	15,3	10,5	4,6	2,4	10,4
	N	-1,2	-0,2	3,7	8,6	13,7	16,5	18,5	18,0	13,5	8,7	3,4	-0,1	8,6
	O	4,1	-2,4	-2,2	4,6	3,2	1,7	2,3	3,6	1,8	1,8	1,2	2,5	1,8

Vysvětlivky:

T = teplota vzduchu [°C]

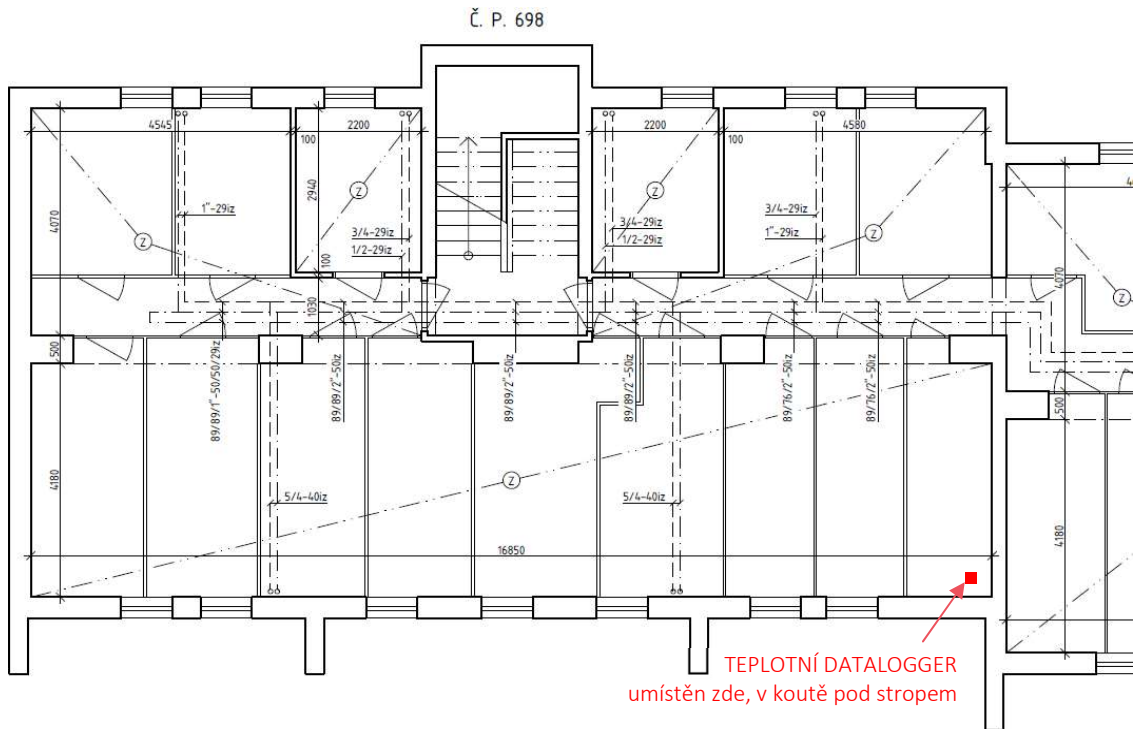
N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981-2010 [°C]

O = odchylka od normálu [°C]

Tabulka 7 - průměrné venkovní teploty pro lokality po měsících převzaty z publikace NKP ČR 30 - V. Květoň [3]

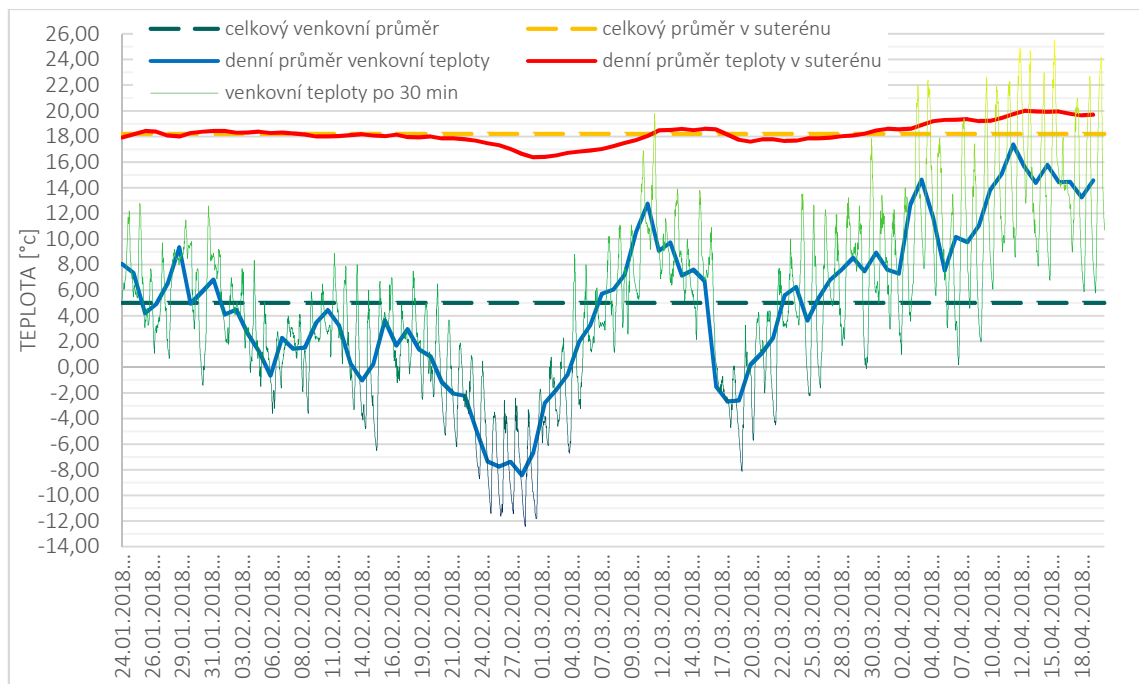
Lokalita	Průměrné měsíční venkovní teploty [°C]											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Beroun (Králov Dvůr)	-1,7	-0,1	3,6	8,1	13,0	16,3	17,9	17,3	13,6	8,7	3,6	0,2

V období od 24. ledna 2018 do 20. dubna 2018 jsou naměřeny po půlhodinách hodnoty teplot vzduchu v suterénu i venkovních teplot. Místo měření je označeno na obrázku 5, hodnoty jsou naznačeny v grafu 1. Současně jsou v grafu vyznačeny průměrné denní teploty a také celkové průměry teplot po dobu měření. Celková průměrná hodnota venkovních teplot je použita v ověřovacím výpočtu (varianta D) s návrhovými hodnotami venkovního vzduchu jako okrajová podmínka a průměrná hodnota teplot suterénu pro porovnání s vypočtenou hodnotou.



Obrázek 5 - umístění měřícího přístroje v půdorysu [1]

Graf 1 - skutečně naměřené hodnoty teplot v suterénu – denní průměry/celkové průměry



Jednotlivé vstupní údaje pro každou variantu a materiálové vlastnosti viz. přílohy č. 1, 2

3.5. Zjednodušení a úpravy

Při výpočtu tepelných toků od potrubí lze veličinu přestupu tepla mezi médii a povrchem potrubí při běžných výpočtech zanedbat, jelikož je poměrně malá. Hodnotu součinitele na přestupu tepla mezi povrchem potrubí a okolním vzduchem lze pro přibližné výpočty uvažovat $10 \text{ W/m}^2\text{K}$. U tepelné izolace ve variantě původního stavu se předpokládá, že je tvořena rohoží z minerální vlny o tl. 20 mm. Jelikož je izolace stará a není v dobrém stavu, uvažuje se zhoršenými tepelně technickými vlastnostmi. Součinitel tepelné vodivosti nové izolace $\lambda=0,056 \text{ [W/mK]}$ [9] je tedy zhoršen na $\lambda=0,112 \text{ [W/mK]}$. Tloušťky nové izolace potrubí jsou určeny dle podkladu. [1] Představují skutečnou stavební úpravu. Tyto tloušťky tepelné izolace neodpovídají požadovaným hodnotám U_o dle vyhlášky č. 193/2007 Sb., ale i přesto s nimi je počítáno z důvodu dosažení co nejskutečnějších výsledků.

Součinitele prostupu tepla konstrukcí v kontaktu se zemínou jsou počítány pro stěny a podlahu odděleně, hodnoty lineárního činitele prostupu tepla ψ_g jsou zanedbány, jelikož vliv této hodnoty na teplotu vzduchu v suterénu je minimální. Ve výpočtech s návrhovými hodnotami venkovních teplot jsou použity hodnoty pro jednotlivé konstrukce a nejsou dále přepočítávány na efektivní součinitel přestupu tepla celého suterénu U' z důvodu zjednodušení a přehlednosti výpočtů. Pro výpočty po měsících se hodnoty přepočítaly na ustálený měrný tepelný tok H_g , ale bez vlivu lineárního činitele prostupu tepla ψ_g .

Hodnoty měsíčních teplot jsou pro výpočty vybrány z dostupných zdrojů dle nejbližší umístěných měst nebo měřených míst.

Součinitel prostupu tepla oken je odhadován hodnotou $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ odpovídající přípustné hodnotě dle tabulky 3 z normy 73 0540-2. Hodnota je určena z předpokladu, že jejich výměna se provedla před 31.12.2012. Součinitel prostupu tepla se stanovil dle minimálních požadavků, jelikož je snaha v těchto výpočtech zjistit, jaké nejnejpříznivější teploty v suterénu mohou nastat.

Intenzita větrání v suterénu je odhadovaná hodnotou $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$, kdy je uvažováno s přirozeným větráním skrz netěsnosti konstrukce, dveře ke schodišťovému prostoru apod.

3.6. Výsledky výpočtů teploty v suterénu

3.6.1. Z návrhových hodnot venkovní teploty

Tabulka 8 - tepelné toky ve variantách

Tepelné toky Φ [W]					
OZN	POPIS	A	B	C	D
Φ_i	Stropní konstrukcí z interiéru	3230,03	1523,07	0,00	2522,92
Φ_t	Topné potrubí	-606,40	-363,12	-232,59	-334,12
Φ_{st}	Obvodové stěny	-276,88	-165,80	-106,20	-152,56
Φ_{ok}	Okna	-396,13	-237,21	-151,94	-218,27
Φ_v	Větrání	-1081,61	-647,68	-414,86	-595,96
Φ_{pz}	Podlaha v kontaktu se zemínou	-2915,53	-1745,85	-1118,28	-1606,44
Φ_{sz}	Stěna v kontaktu se zemínou	2046,44	1636,49	2023,68	384,42

Tabulka 9 - výsledky výpočtů teploty vzduchu v suterénu v ustáleném stavu

	Hledaná teplota	A	B	C	D	
ϑ_u	Teplota vzduchu v suterénu	8,20	-1,11	-6,10	17,78	°C

Výpočty a jejich jednotlivé výsledky viz. příloha č. 2

3.6.2. Z měsíčních hodnot venkovní teploty

Tabulka 10 - výsledky výpočtů teploty vzduchu v suterénu po měsících

Hledaná teplota		A	B	C	
ϑ_{i1}	Teplota vzduchu v suterénu leden	17,11	11,17	6,81	°C
ϑ_{i2}	Teplota vzduchu v suterénu únor	17,54	11,82	7,55	°C
ϑ_{i3}	Teplota vzduchu v suterénu březen	18,53	13,33	9,24	°C
ϑ_{i4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	19,73	15,17	11,30	°C
ϑ_{i5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	14,18	12,97	13,54	°C
ϑ_{i6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,26	14,48	15,05	°C
ϑ_{i7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	15,78	15,21	15,78	°C
ϑ_{i8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,58	14,94	15,51	°C
ϑ_{i9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,38	13,25	13,82	°C
ϑ_{i10}	Teplota vzduchu v suterénu říjen	19,89	15,42	11,57	°C
ϑ_{i11}	Teplota vzduchu v suterénu listopad	18,53	13,34	9,24	°C
ϑ_{i12}	Teplota vzduchu v suterénu prosinec	17,62	11,95	7,68	°C

3.6.3. Citlivostní analýza

Výpočty a jejich jednotlivé výsledky viz. příloha č.3

Tabulka 11 - tabulka výsledků citlivostní analýzy

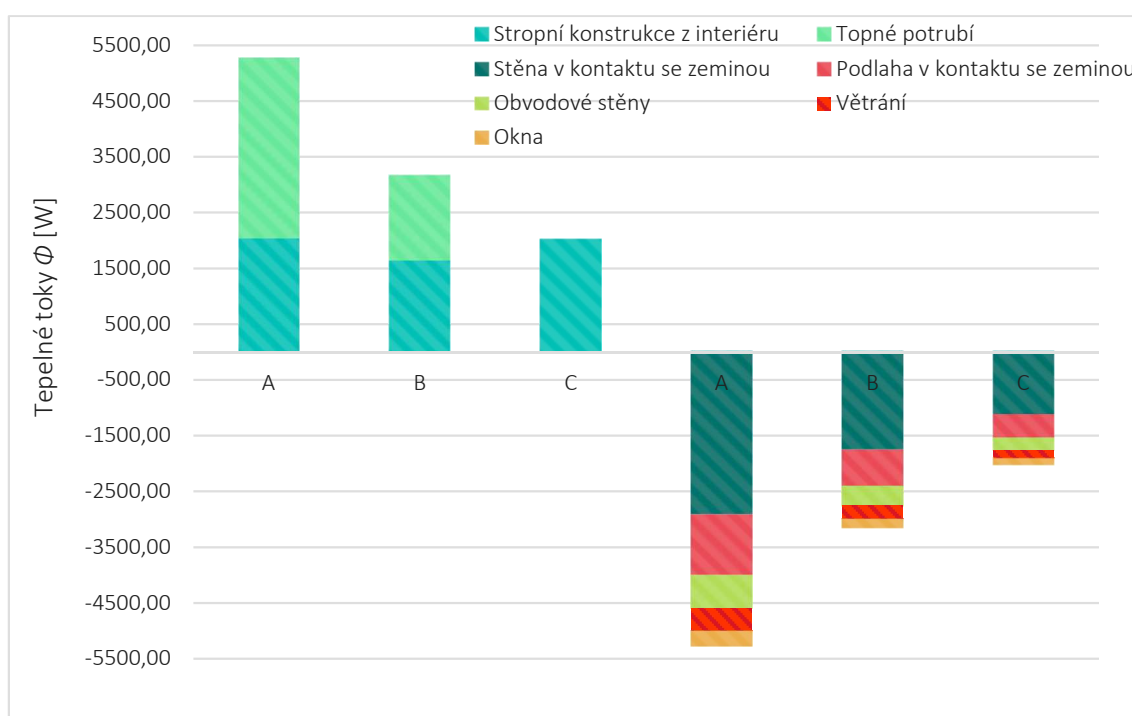
ŘÍJEN	A	B	C		LISTOPAD	A	B	C	
NKP	19,89	15,42	11,57	°C	NKP	18,53	13,34	9,24	°C
ČHMÚ	19,95	15,51	11,68	°C	ČHMÚ	18,54	13,35	9,26	°C
A1	18,28	14,04	10,93	°C	A1	16,38	11,35	7,98	°C
A2	19,77	15,31	11,52	°C	A2	18,37	13,18	9,14	°C
A3	19,73	15,27	11,50	°C	A3	18,31	13,12	9,10	°C
A4	19,90	15,67	12,09	°C	A4	18,64	13,70	9,90	°C
K1	18,20	13,98	10,90	°C	K1	16,27	11,25	7,92	°C
K2	19,64	15,43	11,96	°C	K2	18,30	13,35	9,66	°C
K3	18,28	14,21	11,32	°C	K3	16,48	11,59	8,47	°C
K4	18,32	14,24	11,34	°C	K4	16,52	11,63	8,50	°C
K5	18,08	13,89	10,86	°C	K5	16,11	11,12	7,84	°C
K6	18,21	14,15	11,29	°C	K6	16,37	11,50	8,41	°C
PROSINEC	A	B	C		LEDEN	A	B	C	
NKP	17,62	11,95	7,68	°C	NKP	17,11	11,17	6,81	°C
ČHMÚ	17,60	11,92	7,65	°C	ČHMÚ	17,31	11,47	7,15	°C
A1	15,12	9,55	6,01	°C	A1	14,41	8,54	4,91	°C
A2	17,44	11,76	7,55	°C	A2	16,92	10,97	6,67	°C
A3	17,37	11,69	7,50	°C	A3	16,84	10,89	6,61	°C
A4	17,81	12,39	8,44	°C	A4	17,34	11,66	7,62	°C
K1	14,99	9,43	5,93	°C	K1	14,27	8,42	4,82	°C
K2	17,41	11,97	8,12	°C	K2	16,91	11,19	7,26	°C
K3	15,27	9,85	6,57	°C	K3	14,60	8,87	5,51	°C
K4	15,32	9,89	6,60	°C	K4	14,65	8,92	5,55	°C
K5	14,80	9,27	5,82	°C	K5	14,07	8,24	4,70	°C
K6	15,15	9,73	6,49	°C	K6	14,47	8,75	5,41	°C
ÚNOR	A	B	C		BŘEZEN	A	B	C	
NKP	17,54	11,82	7,55	°C	NKP	18,53	13,33	9,24	°C
ČHMÚ	17,58	11,88	7,61	°C	ČHMÚ	18,62	13,47	9,39	°C
A1	15,00	9,39	5,84	°C	A1	16,38	11,35	7,98	°C
A2	17,36	11,64	7,41	°C	A2	18,37	13,18	9,14	°C
A3	17,28	11,56	7,36	°C	A3	18,31	13,12	9,10	°C
A4	17,73	12,28	8,31	°C	A4	18,64	13,70	9,90	°C
K1	14,87	9,27	5,76	°C	K1	16,27	11,25	7,92	°C
K2	17,33	11,84	7,99	°C	K2	18,30	13,35	9,66	°C
K3	15,17	9,69	6,40	°C	K3	16,48	11,59	8,47	°C
K4	15,22	9,74	6,44	°C	K4	16,52	11,63	8,50	°C
K5	14,69	9,11	5,65	°C	K5	16,11	11,12	7,84	°C
K6	15,04	9,58	6,32	°C	K6	16,37	11,50	8,41	°C

3.7. Vyhodnocení výsledků

3.7.1. Návrhové hodnoty

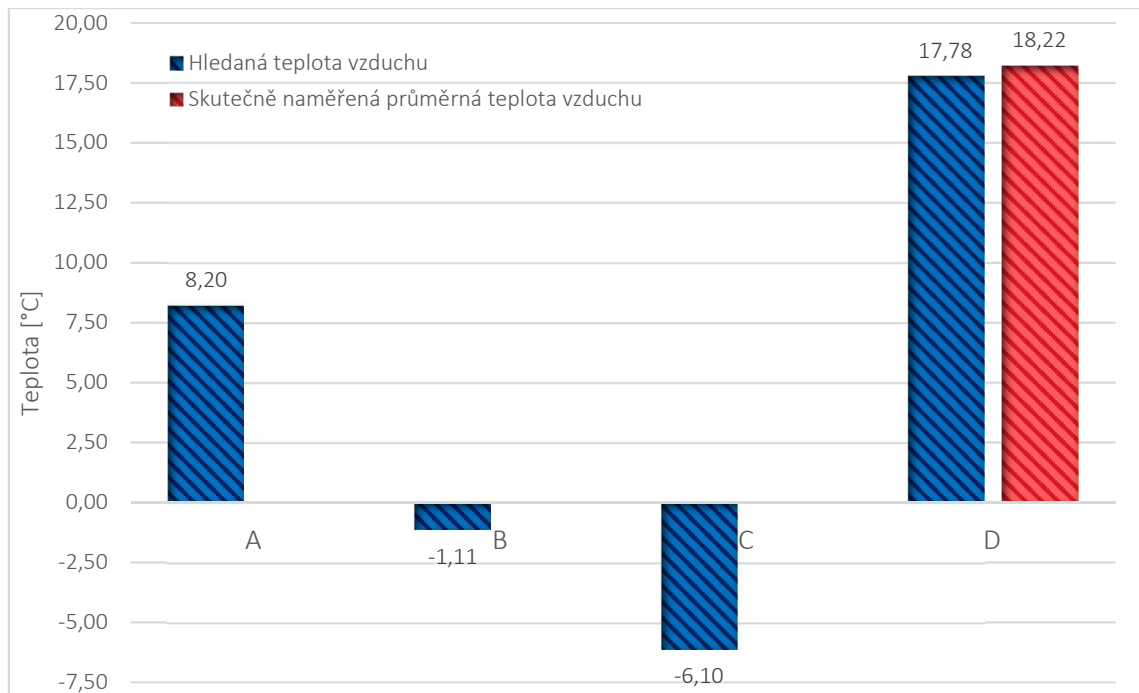
Z Grafu 2 lze vyčíst, že tepelný tok od topného potrubí je výrazně větší než tepelný tok od stropní konstrukce ve variantě A. Také je poznat, že po zateplení obou konstrukcí ve variantě B se tyto toky vyrovnaly a výrazně snížily. Snížení tepelných toků má za následek také snížení teploty vzduchu v suterénu viz. Graf 3. Pro zjištění hodnoty tepelného toku ze stropní konstrukce a vlivu na vnitřní teplotu se následně ve variantě C zanedbaly tepelné toky od potrubí. Tím teplota vzduchu v suterénu opět poklesla. Tepelný tok od stropní konstrukce vzrostl, ale ostatní tepelné toky reprezentující únik tepla ze suterénu rovnoměrně poklesly.

Graf 2 - porovnání tepelných toků tří výpočtových variant



Varianta D není do porovnání tepelných toků zaznamenána z toho důvodu, že se jedná o kontrolní výpočet v rámci teploty vzduchu v suterénu. V Grafu 3 jsou zaznamenány vypočtené teploty všech variant včetně skutečně naměřeného průměru vnitřní teploty. Vypočtená hodnota teploty vzduchu se liší o méně, než půl stupně. Odchylka je způsobena zjednodušením výpočtu a zanedbáním některých hodnot.

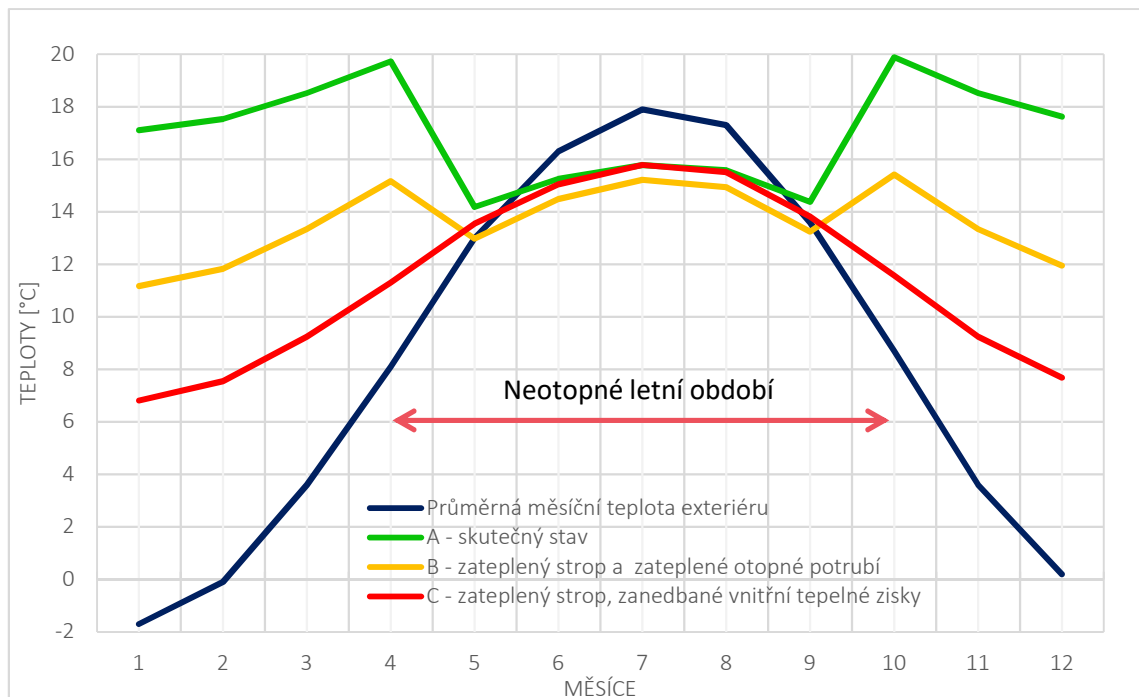
Graf 3 - výsledky výpočtu teploty vzduchu v suterénu všech variant a naměřené teploty



3.7.2. Měsíční hodnoty

Z výsledků podle měsíčních hodnot je zřetelný pokles teplot v letním období, kdy se nevytápí. Teplota vzduchu suterénu v neotopném období klesne pod venkovní teplotu vzduchu. Ve variantě A jsou nejvyšší teploty. Ve variantě B jsou teploty nižší, ale sledují stejný tvar křivky v grafu 4 jako varianta A. Varianta C sleduje podobný tvar křivky pouze v neotopném období, jelikož se jedná o variantu, která zanedbává tepelné zisky od vnitřních zdrojů.

Graf 4 - měsíční teploty vzduchu v suterénu a venkovní průměrné měsíční teploty z publikace NKP ČR 30 - V. Květoň



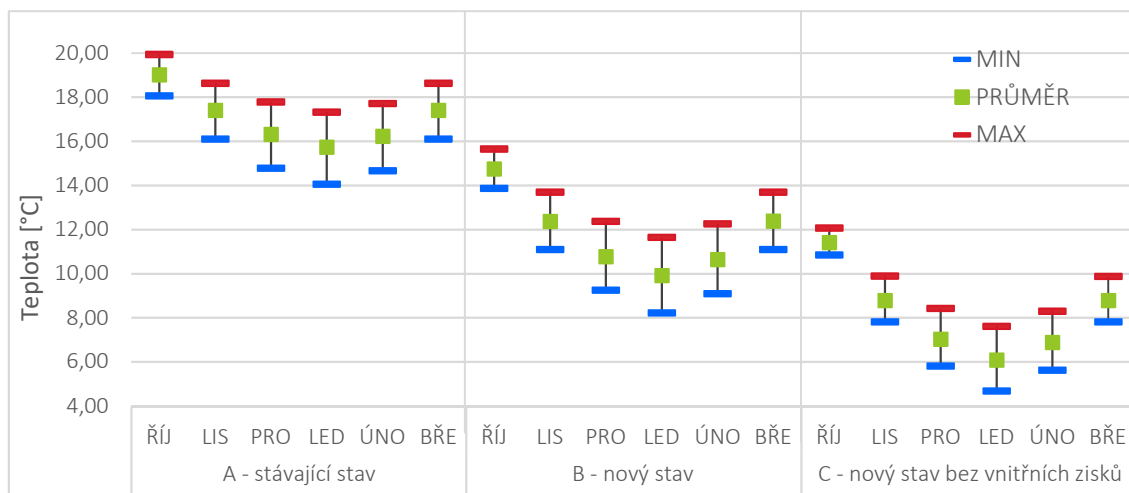
3.7.3. Citlivostní analýza

Z výsledků citlivostní analýzy jsou vybrány nejvyšší a nejnižší měsíční hodnoty daných variant. Dále ze všech hodnot jsou spočítány průměry. Z těchto hodnot je vytvořen Graf 5 pro lepší přehlednost. Nejnižší minimální hodnoty teplot všech variant jsou z ledna.

Tabulka 12 - limitní hodnoty teplot z citlivostní analýzy

	ŘÍJEN			LISTOPAD			PROSINEC		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
MIN	18,08	13,89	10,86	16,11	11,12	7,84	14,80	9,27	5,82
PRŮMĚR	19,02	14,76	11,41	17,40	12,37	8,78	16,32	10,78	7,03
MAX	19,95	15,67	12,09	18,64	13,70	9,90	17,81	12,39	8,44
	LEDEN			ÚNOR			BŘEZEN		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
MIN	14,07	8,24	4,70	14,69	9,11	5,65	16,11	11,12	7,84
PRŮMĚR	15,74	9,92	6,08	16,23	10,65	6,88	17,41	12,38	8,79
MAX	17,34	11,66	7,62	17,73	12,28	8,31	18,64	13,70	9,90

Graf 5 - průběhy měsíčních teplot z citlivostní analýzy



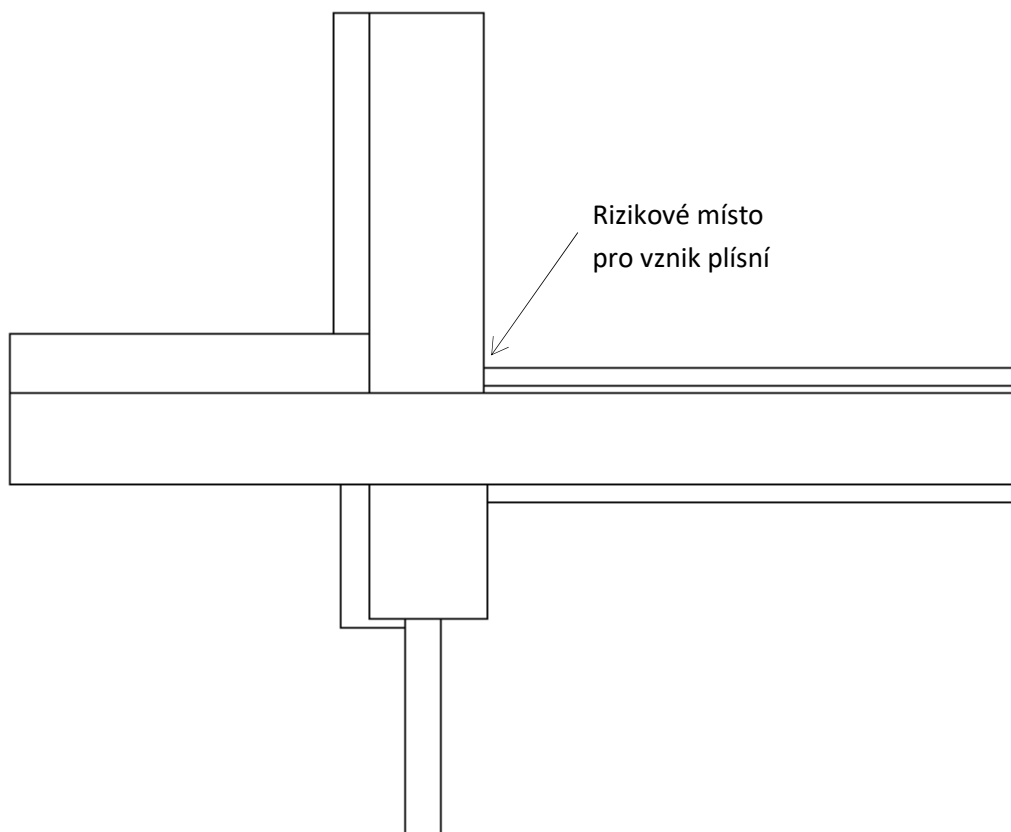
3.8. Dílčí závěr

V této kapitole jsou stanoveny teploty vzduchu v suterénu pomocí bilanční rovnice tepelných toků. Nejprve se teplota vzduchu stanovila podle návrhové venkovní teploty (-15 °C). Ve výpočtech je přidána jedna ověřovací varianta, kde venkovní teplotu představuje celkový průměr z naměřených teplot. Vypočítaná teplota je porovnána s průměrnou hodnotou naměřených teplot v suterénu a poměrně se shoduje. Jelikož z návrhové venkovní teploty nelze získat teplotu vzduchu v suterénu, která by mohla skutečně nastat je provedena další sada výpočtů z průměrných měsíčních venkovních teplot s uvážením citlivostní analýzy. Lednové hodnoty z těchto výpočtů jsou použity pro stanovení nejnižší vnitřní povrchové teploty kritického detailu.

4. Nejnižší vnitřní povrchové teploty

4.1. Proč jsou teploty počítány

Nejnižší vnitřní povrchové teploty jsou počítány z toho důvodu, aby se zhodnotilo riziko kondenzace vodní páry a vzniku plísní na vnitřním povrchu konstrukce. Pro neprůsvitné konstrukce je dle normy ČSN 730540-2 kritický vznik plísní. Pro vyloučení vniku plísní je požadována maximálně 80 % relativní vlhkost na povrchu. Toto riziko může vznikat v místě kritického detailu viz. obrázek 6.



Obrázek 6 - schéma kritického detailu

4.2. Varianty výpočtu

Výpočty jsou provedeny ve čtyřech variantách. Tyto varianty výpočtu jsou aplikovány na tři stavové varianty A, B a C, se kterými je počítáno již v předchozích výpočtech. Varianta A je stávající stav konstrukce, přičemž varianta B představuje navržený stav, kdežto varianta C prezentuje navržený stav bez vnitřních zdrojů tepla.

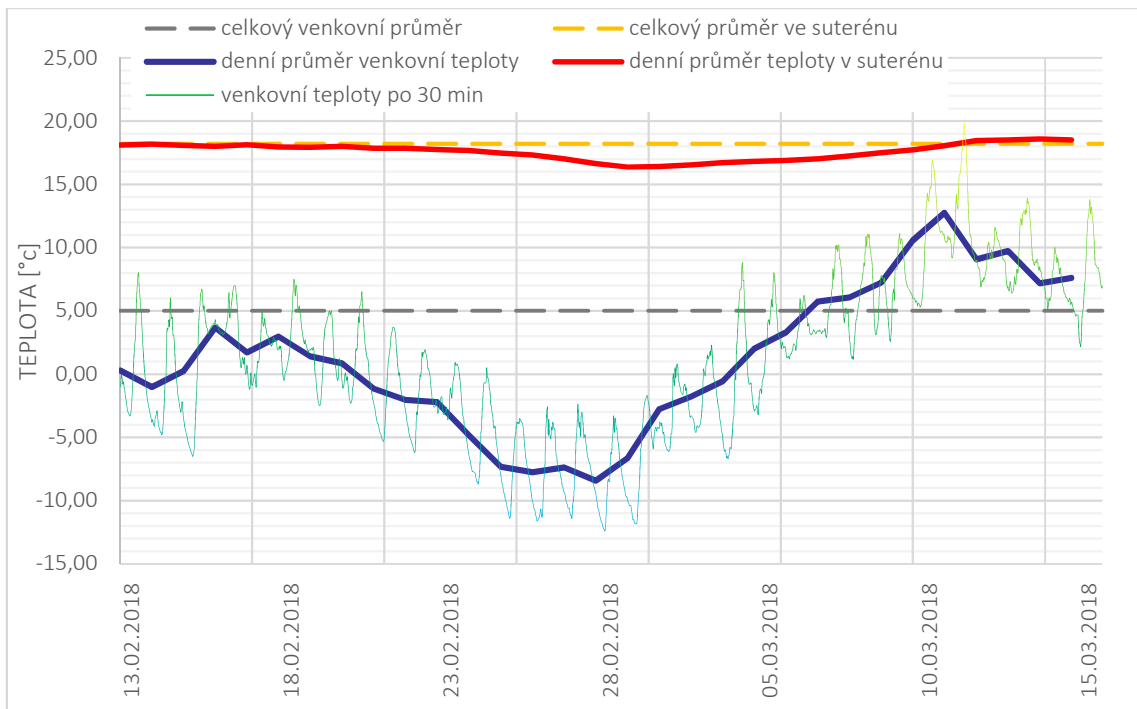
Teplota v interiéru nad suterénem je pro všechny varianty stejná.

- I. Venkovní návrhová teplota (-15) a teplota vzduchu v suterénu vypočítaná dle této venkovní teploty
- II. Venkovní teplota je průměrnou venkovní teplotou v daném měsíci. Nejnižší vypočtená teplota vzduchu v suterénu z předchozích výpočtů odpovídá venkovní měsíční průměrné teplotě.
 - a) prosinec
 - b) leden
 - c) únor
- III. Venkovní návrhová teplota (-15) a nejnižší teplota vzduchu v suterénu odpovídající venkovní měsíční průměrné teplotě dle nejchladnějšího měsíce (leden).
- IV. Venkovní návrhová teplota (-15) a teplota vzduchu v suterénu odpovídající venkovní měsíční průměrné teplotě snižená přírážkou $\Delta\vartheta \approx 3^\circ\text{C}$ na pokles ϑ_u oproti měsíčnímu průměru v době mrazu.

4.2.1. Zdůvodnění variant

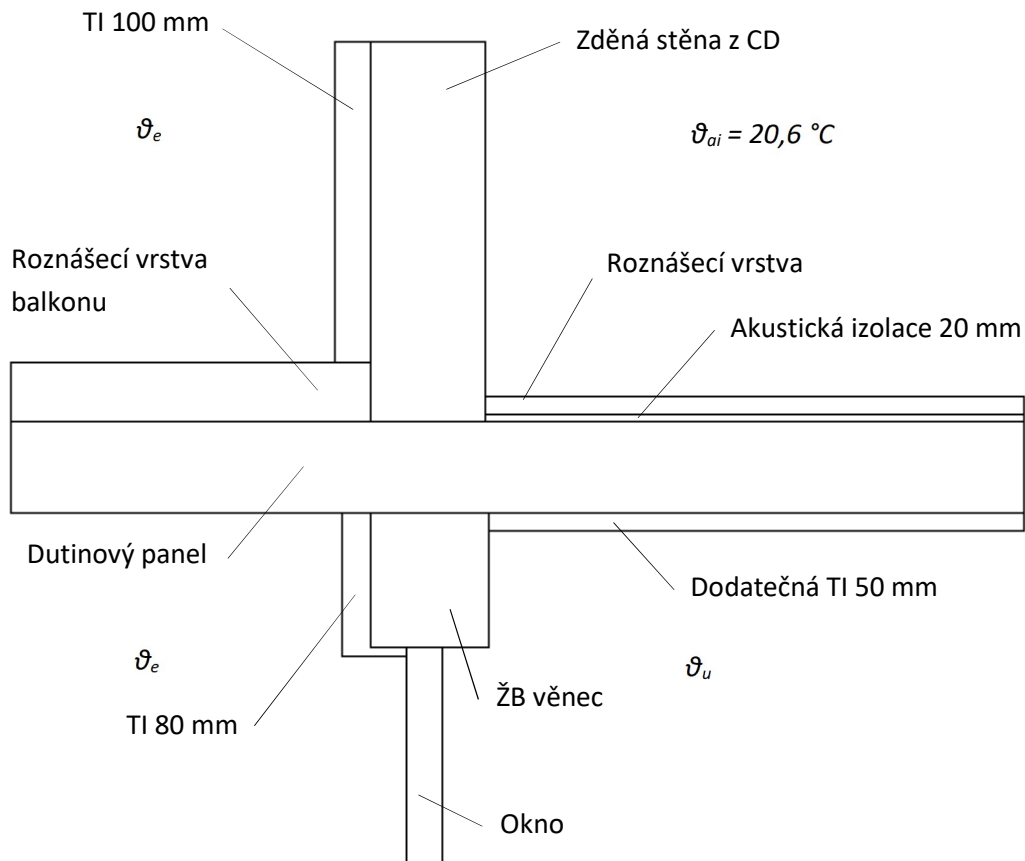
- I. Počítáno dle tradičních postupů pro výpočty v ustáleném stavu i přes to, že ve skutečnosti tato situace nenastane.
- II. Tyto hodnoty představují reálné průměrné měsíční teploty jak venkovního prostředí, tak vnitřního prostředí suterénu. Situace nenastává, ale velice se přibližuje skutečnému stavu.
- III. Odhad situace, kdy venkovní teplota může poklesnout a přiblížit k návrhové hodnotě (předpokládané minimum) pouze krátkodobě a na teplotě v suterénu se ještě změna venkovní teploty nestačila projevit. Tyto situace jsou zřetelné z naměřených hodnot viz. graf 1.
- IV. Je proveden odhad dynamického stavu, kdy může docházet k dlouhodobému snížení venkovní teploty. Oproti situaci III. se uvažuje, že venkovní teplota ovlivní teplotu v suterénu. Tím je teplota v suterénu snížena přírážkou, která je odhadována podle naměřených teplot dle grafu 1 viz graf 6 - výřez. Z tohoto grafu je zřetelné, že výrazný pokles venkovní teploty se projeví na vnitřní teplotě jen málo a také s opožděním. Těmito úpravami se lze přiblížit skutečným stavům.

Graf 6 - výřez průběhu teplot z grafu 1



4.3. Metody výpočtu

Návrhová teplota vnitřního vzduchu ϑ_{ai} pro určení vnitřní povrchové teploty je stanovena dle normy ČSN 73 0540-3, kde návrhová vnitřní teplota ϑ_i je zvýšena přírážkou na vyrovnání rozdílu mezi teplotou vnitřního vzduchu a průměrnou teplotou okolních ploch $\Delta\vartheta_{ai}$, která je stanovena orientačně z přílohy normy I.2. jako 0,6 K. Tedy je počítáno s hodnotou $\vartheta_{ai} = 20,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 7 - schéma kritického detailu balkonu

Veškeré výpočty vnitřní povrchové teploty konstrukce jsou provedeny pomocí výpočtového 2D programu Area 2017 EDU dle požadavku ČSN 73 0540. Pro návrhovou venkovní teplotu a návrhovou teplotu vnitřního vzduchu jsou kritické teploty pro tvorbu plísní a kondenzaci určeny tabulkou 2 z normy 73 0540-2.

Dále je stanovena kritická povrchová teplota pro průměrné měsíční venkovní teploty. Je určena pouze z teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti (50 %) ze vztahů z psychometrického diagramu profesora Chyského. Výpočty jsou zpracovány v podobě excelového programu firmy C.I.C. od Jana Hřebce viz. příloha 4. [10]

4.4. Vstupní údaje

Ve výpočtu podle návrhových hodnot je venkovní návrhová teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ dle ČSN 730540-3 tabulka H.2. Ostatní okrajové podmínky jsou přebrány z předchozí kapitoly, kde jsou počítány teploty vzduchu v suterénu.

Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu je ve výpočtech uvažována 84 %. Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu je uvažována 50 %.

Tabulka 13 - tabulka teplot pro výpočtové varianty

		A stávající		B navrhovaný	C navrhovaný bez vnitřních zdrojů tepla
Var. \ [°C]	ϑ_i	ϑ_e	ϑ_u	ϑ_u	ϑ_u
I.	20	-15	8,20	-1,11	-6,10
II. - a	20	0,2	14,80	9,27	5,82
II. - b	20	-1,7	14,07	8,24	4,7
II. - c	20	-0,1	14,69	9,11	5,65
III.	20	-15	14,07	8,24	4,7
IV.	20	-15	11,07	5,24	1,7

Odpory při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce pro výpočet šíření vlhkosti a rizika růstu plísní jsou určeny dle tabulky J.1 z normy ČSN 730540-3. Pro vnitřní povrch stavební konstrukce je hodnota $R_{se}=0,25\text{ m}^2\text{K/W}$, pro vnitřní povrch výplně otvoru je hodnota $R_{se}=0,13\text{ m}^2\text{K/W}$. Odpory na přestupu tepla na vnější straně $R_{si}=0,04\text{ m}^2\text{K/W}$.

4.5. Zjednodušení a úpravy

Zjednodušená skladba konstrukcí – jsou zanedbány veškeré povrchové úpravy a tenké vrstvy, které na výpočet mají téměř nulový vliv. Například stropní konstrukce je složena pouze z dutinového panelu s tenkou akustickou izolací a roznášecí vrstvou.

Okno ve výpočtu je zjednodušeno na jeden materiál, který tloušťkou a součinitelem tepelné vodivosti odpovídá součiniteli prostupu tepla celým oknem. Tato hodnota je identická s hodnotou počítanou v kapitole 3. pro stávající stav.

4.6. Výsledky a jejich vyhodnocení

Tabulka 14 - výsledky výpočtů nejnižší vnitřní povrchové teploty dle variant

	Mezní teplota při vlhkosti		A stávající	B navrhovaný	C navrhovaný bez vnitřních zdrojů tepla
	80 %	100 %			
Var. \[°C]	Plíseň	Kondenzace	$\vartheta_{s,min}$	$\vartheta_{s,min}$	$\vartheta_{s,min}$
I.	11,59	8,25	10,95	9,74	9,05
II. - a	13,2	9,8	15,18	14,37	13,88
II. - b	13,2	9,8	14,67	13,82	13,33
II. - c	13,2	9,8	15,10	15,28	13,80
III.	11,59	8,25	12,14	11,04	10,55
IV.	11,59	8,25	11,53	10,62	10,13

Ostatní výsledky a výstupy viz. příloha č. 4 a příloha č. 5

Legenda výsledků

Kondenzace vodní páry



Riziko vzniku plísně



Vyhovuje



4.7. Dílčí závěr

Při posouzení detailu dle návrhových vstupních teplot neboli varianty I. je detail ve všech případech nevyhovující a může docházet ke vzniku plísní. Při posouzení průměrných měsíčních venkovních teplot a jim odpovídajících vnitřních teplot je detail vyhovující. Ve variantě III., kde je počítáno s venkovní návrhovou hodnotou je vyhovující pouze původní stav detailu. V případě zateplení stropní konstrukce je detail nevyhovující a může v těchto podmínkách docházet k tvorbě plísní. V poslední variantě, kde je teplota v suterénu snížena oproti předcházející variantě je detail nevyhovující a pravděpodobně může docházet k tvorbě plísní. V žádné posuzované variantě by nemělo docházet ke kondenzaci na vnitřním povrchu.

Z těchto výpočtů a jejich výsledků je zřejmé, že teplota vzduchu v suterénu snížena vlivem zateplení stropní konstrukce opravdu má vliv na vnitřní povrchovou teplotu v místě kritického detailu. Zateplením stropní konstrukce v suterénu dochází ke snížení teploty v suterénu, a tak i vnitřní povrchové teploty v detailu. Tímto se také zvyšuje časové období, při kterém je zvýšené riziko vzniku plísní.

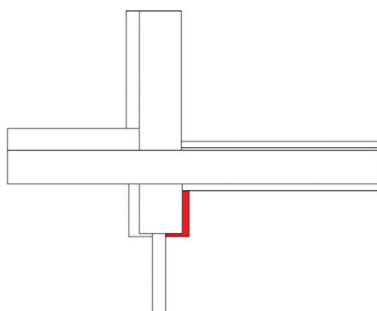
5. Návrh řešení detailu

5.1. Proč jsou navrhována řešení detailu

Z předcházejících výpočtů v ustáleném stavu se zjistilo, že v kritickém detailu může docházet k tvorbě plísní na vnitřním povrchu konstrukce. Proto detail nesplňuje požadavky normy a je nevyhovující. V této kapitole se řeší jak tomuto nežádoucímu stavu zabránit. Jsou navrženy různé varianty řešení tohoto detailu. Každé řešení je ověřeno výpočtem. Následně je vybráno řešení, které je nejúčinnější a zároveň co nejjednodušší v provedení.

5.2. Varianty řešení

- A. Zateplení věnce na vnitřním povrchu v suterénu minerální vlnou tl. 50 mm ve svislé rovině a 25 mm ve vodorovné rovině.
- Tato varianta vychází z předpokladu, že po zateplení věnce se zmenší tepelný tok detailem a teplota na vnitřním povrchu se zvýší.

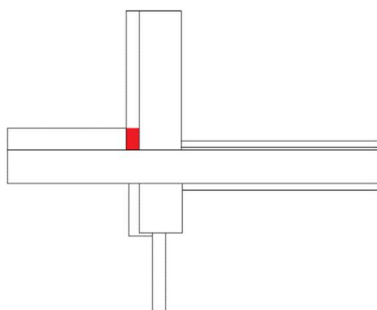


Poznámka:

Červenou a oranžovou barvou jsou naznačena opatření provedená v dané variantě.

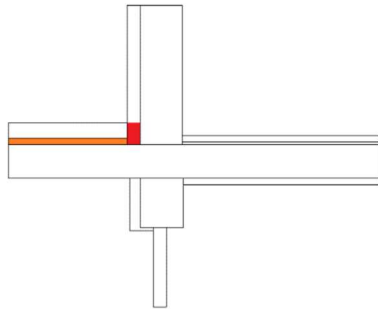
Obrázek 8 - zateplení věnce

- B. Protažení tepelné izolace obvodové stěny do roznášecí vrstvy balkonu.
- V místě roznášecí vrstvy balkonu se při zateplování obvodového pláště zateplení neprovedlo. Roznášecí vrstva na balkonu je poměrně vysoká a zateplení o této tloušťce by mohlo výrazně ovlivnit vnitřní povrchovou teplotu.



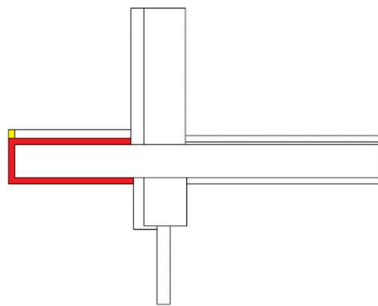
Obrázek 9 - zateplení v místě roznášecí vrstvy

- C. Úplné odstranění původní roznášecí vrstvy balkonu a nahrazení podlahovou tepelnou izolací s novou roznášecí vrstvou o stejné celkové tloušťce s doplněním chybějící tepelné izolace na obvodové stěně v místě roznášecí vrstvy.
1. Izolace o tloušťce 50 mm
 2. Izolace o tloušťce 70 mm



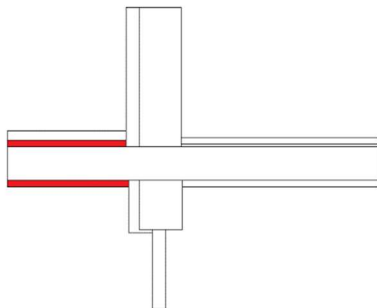
Obrázek 10 - zateplení pod roznášecí vrstvou

- D. Obalení balkonu tepelnou izolací s nahrazením původní roznášecí vrstvy za novou. Doplní se chybějící tepelná izolace na obvodové stěně v místě roznášecí vrstvy.
1. Izolace o tloušťce 30 mm
 2. Izolace o tloušťce 50 mm
 3. Izolace o tloušťce 80 mm



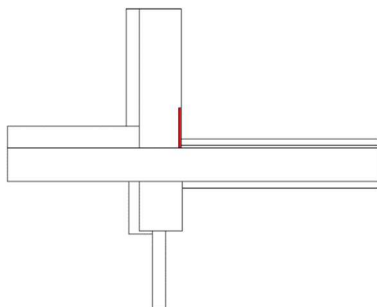
Obrázek 11 - zateplení balkonu obalením

- E. Zateplení horního a spodního povrchu balkonové desky izolací s nahrazením původní roznášecí vrstvy za novou. Doplní se chybějící tepelná izolace na obvodové stěně v místě roznášecí vrstvy.
1. Izolace o tloušťce 30 mm
 2. Izolace o tloušťce 50 mm
 3. Izolace o tloušťce 80 mm



Obrázek 12 - zateplení horního a spodního povrchu balkonové desky

- F. Vložení tepelné izolace do stěny na vnitřní straně konstrukce.
1. Fenolická pěna Kooltherm K5 tl. 20 mm a výšky 300 mm
 2. Polyuretan pěnový tuhý tl. 20 mm a výšky 300 mm

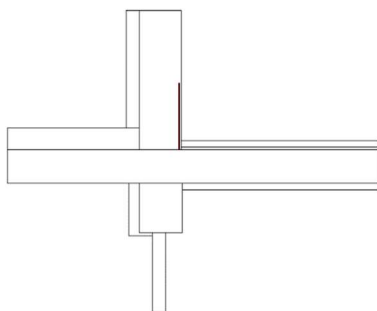


Obrázek 13 - zateplení na vnitřním povrchu v místě rizika vzniku plísně

G. Vyhřívání detailu na vnitřním povrchu.

- Elektrickou topnou rohoží nebo fólií s odpovídajícím výkonem pod omítkou o výšce 300 mm.

1. $3\ 000\ \text{W/m}^3 \rightarrow 30\ \text{W/m}^2 \rightarrow 9\ \text{W/m}$
2. $5\ 000\ \text{W/m}^3 \rightarrow 50\ \text{W/m}^2 \rightarrow 15\ \text{W/m}$
3. $10\ 000\ \text{W/m}^3 \rightarrow 100\ \text{W/m}^2 \rightarrow 30\ \text{W/m}$

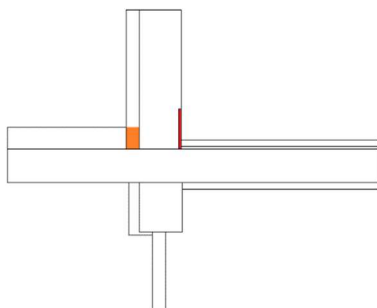


Obrázek 14 - vyhřívání rohoží v místě rizika vzniku plísně

- Elektrickým topným kabelem v místě s rizikem vzniku plísní.

4. $5\ \text{W/m} \rightarrow 328\ 839\ \text{W/m}^3$
5. $10\ \text{W/m} \rightarrow 657\ 578\ \text{W/m}^3$

H. Kombinace varianty B a varianty F, kde se zateplí obvodová stěna v místě roznášecí vrstvy a zároveň se provede zateplení na vnitřním povrchu v místě rizika vzniku plísní.



Obrázek 15 - zateplení na vnitřní straně v místě rizika vzniku plísně + zateplení v místě roznášecí vrstvy

I. Úplná změna konceptu řešení balkonu.

Jelikož se má jednat pouze o zlepšení stávajícího stavu s co nejmenšími zásahy do konstrukce, varianta I se vyřazuje z možného řešení, i když by se mohlo jednat o nejlepší řešení v rámci tepelné techniky.

Popis: Všechny tyto varianty jsou navrženy s předpokladem zvýšení vnitřní povrchové teploty konstrukce v místě detailu a také zabránění možného vzniku plísní. Některé varianty jsou navrženy ve více podvariantách, aby se ověřilo, zda není některá z podobných variant lepším řešením problému.

5.3. Metody výpočtu

Výpočty jsou provedeny totožnými metodami jako tomu je v kapitole 4. při výpočtech nejnižší vnitřní povrchové teploty viz. kapitola 4.3.

Topná rohož je řešena ve 2D teplotním poli, proto je nutné velikost zdroje tepla zadávat v jednotce W/m^3 . Jelikož se výkon u topné rohože udává ve W/m^2 , musí se její výkon přepočítávat na W/m^3 . Potřebné jednotky výkonu dostaneme tak, že je výkon udávaný ve W/m^2 vydělený tloušťkou oblasti zadávané do výpočetního programu. Ve výpočtech jsou uvažovány rozměry 300 mm výška a 10 mm šířka. Potřebný výkon rohože je zjišťován pomocí opakovaného dosazování a docílení potřebné vnitřní povrchové teploty konstrukce.

Podobnou metodikou jako topná rohož, jsou počítány varianty s elektrickým topným kabelem. Výkony topného kabelu se udávají ve W/m , proto tato hodnota musí být opět přepočítána na jednotku W/m^3 . Potřebné jednotky výkonu dostaneme tak, že je výkon udávaný ve W/m vydělený plochou oblasti kabelu zadávané do výpočetního programu.

5.4. Vstupní údaje

Venkovní i vnitřní teploty jsou přebrány z varianty IV. pro navrhovaný stav bez vnitřních zdrojů tepla z tabulky 14. v kapitole 4.4. Tato varianta je zvolena z toho důvodu, že se jedná o nejpravděpodobnější variantu, která ve skutečnosti může nastat. Ostatní vstupní údaje jsou totožné s kapitolou 4.

5.5. Zjednodušení a úpravy

Ve výpočtech jsou zahrnuta podobná zjednodušení jako u předchozích výpočtů. Konstrukce jsou modelovány co nejjednodušeji a jsou zanedbány povrchové úpravy.

Ve variantě umístění elektrické topné rohože na vnitřním povrchu konstrukce se uvažuje s umístěním rohože těsně nad úroveň čisté podlahy. Toto umístění je zvoleno z toho důvodu, aby nedošlo k porušení podlahy při umístění topné rohože na konstrukci. Dále je rohož pro výpočet modelována těsně pod povrchem nosné konstrukce, jelikož jsou povrchové úpravy zanedbány a její vliv na výpočet je nepatrný. Ve skutečnosti by se rohož měla umístit na nosnou konstrukci pod omítkou.

Ve variantě přidání tepelné izolace na vnitřním povrchu konstrukce je modelována obdobně jako topná rohož těsně pod povrchem nosné konstrukce. Při realizaci může být izolace umístěna na povrchu nosné konstrukce a maskována omítkou, pokud je její tloušťka dostatečná. Pokud bude izolace masivnější, může se předsadit před konstrukci stěny. Další možností je oslabit stěnu a izolaci do ní zapustit. V případě propustné izolace musí být zajištěna parozábrana.

5.6. Výsledky výpočtu a jejich vyhodnocení

Tabulka 15 - výsledky výpočtů vnitřní povrchové teploty dle řešení

Var.	Výsledky $\vartheta_{s,min}$ [°C]	Mezní teplota při vlhkosti	
		80 % Plíseň	100 % Kondenzace
Zateplený stav bez opatření	10,12		
A	9,83		
B	11,16		
C.1	11,32		
C.2	11,34		
D.1	12,20		
D.2	12,42		
D.3	12,69		
E.1	12,18		
E.2	12,36		
E.3	12,58		
F.1	12,63		
F.2	12,85		
G.1	11,81		
G.2	12,86		
G.3	15,01		
G.4	13,04		
G.5	14,15		
H	13,77		
		11,59	8,25

Ostatní výsledky a výstupy viz. příloha č. 6

Legenda výsledků

Kondenzace vodní páry



Riziko vzniku plísně



Vyhovuje

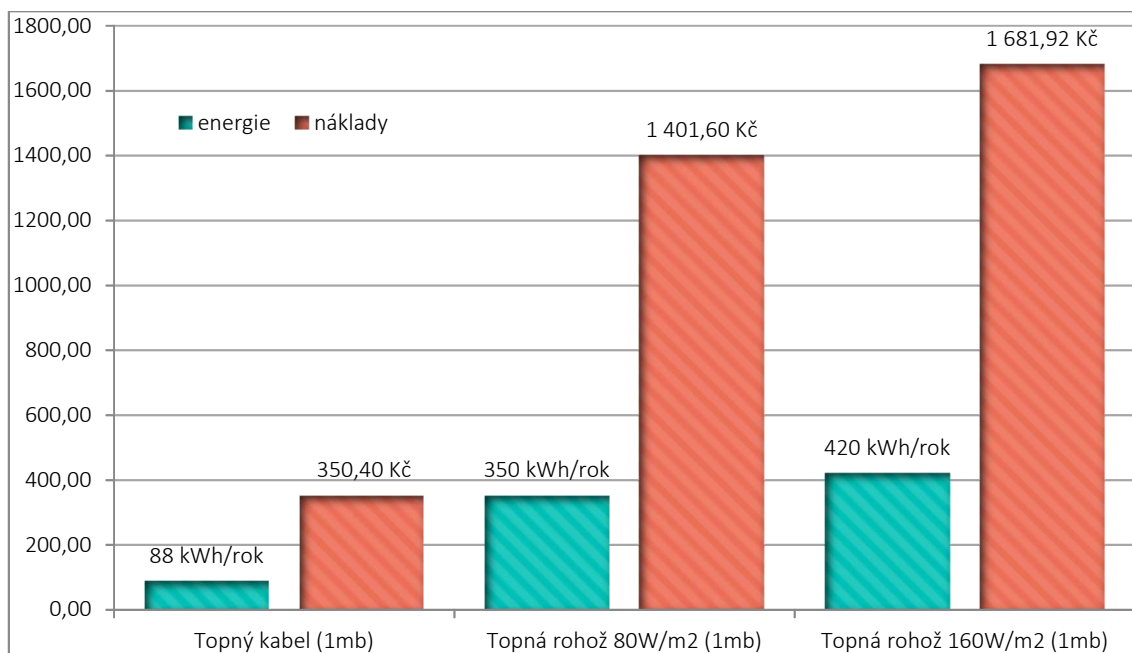


5.7. Dílčí závěr

Varianta A je absolutně nevyhovující způsob řešení detailu a po jeho realizaci se výskyt rizika vzniku plísní zvýší, jelikož povrchová teplota v interiéru tímto zákrokem poklesne. Varianty řešení B až C.2 se k hranici překlenutí tohoto rizika blíží, ale stále jsou nevyhovující. Varianty D1 až H jsou dle kritérií vyhovující, avšak se většina z nich velmi blíží hraniční teplotě pro riziko vzniku plísní. Tyto varianty mohou být rizikovým řešením pro případy, kdy venku a v suterénu mohou být teploty sníženy. Provedené výpočty také mohou mít určitou nejistotu, jelikož došlo k řadě zjednodušení a úprav, a také k odhadu okrajových podmínek.

Jako nejlepší řešení se ukázaly varianta G.3 a G.5. Obě varianty vykazují velice příznivé vnitřní povrchové teploty, ale jsou závislé na dodávce elektrické energie. V případě řešení povrchové teploty el. topnou rohoží postačí výkon v rozmezí 80-160 W/m². Rohože se vyrábí o rozměrech od 0,9 m délky a typicky o 0,5 m šířky. O uvažované šířce ve výpočtech 0,3 m se vyrábí pouze s výkonem 160 W/m². V případě topného kabelu postačí výkon 10 W/m. Pro dvě vybraná řešení topnou rohoží a pro topný kabel je proveden odhad spotřeby elektrické energie a nákladů jednoho metru délky za rok v grafu 7. Uvažované období, kdy je potřeba detail vyhřívat je od 1.10 do 30.4 s funkčností 24 hodin denně. Odhad je pouze orientační a naznačuje rozdílnost vynaložených nákladů jednotlivých řešení.

Graf 7 - potřeba energie na ohřátí detailu



Dalším dobrým řešením je varianta H, kde se kombinují dvě varianty a vnitřní povrchová teplota je přibližně o 2 °C vyšší než hraniční teplota. Variantu H považuji v tomto případě za lepší z toho důvodu, že je toto řešení stálé a není závislé na uživateli obytných prostor a dodávce elektrické energie. Po ukončení prací se uživatelé prostor nebudou muset zabývat tímto problémem, a ani nebudou muset poskytovat k jeho řešení další finanční prostředky, jak je tomu u variant G.

6. Výpočtové ověření nejnižší vnitřní povrchové teploty v neustáleném stavu

6.1. Zdůvodnění prováděných výpočtů

Dynamická simulace detailu je schopná analyzovat časově závislé jevy a určuje proměnu vlastností modelu. Takto simuluje i proměnu výsledné hodnoty v čase. Výpočty v dynamickém stavu poslouží k ověření předcházejících výpočtů. Ověří se, zda výsledky z výpočtů v ustáleném stavu jsou pravdivé a shodují se s výpočty v dynamickém stavu nebo jestli se aspoň sobě blíží. Také se zjistí, zda jsou navržená opatření po zateplení stropní konstrukce v suterénu potřebná. Normou ČSN 73 0540-2 je povoleno použití pokročilejší metody výpočtů dle normy ČSN EN 15026 k posouzení stavebních konstrukcí v dynamickém stavu. Pokud přesnější výsledky z výpočtů v dynamickém stavu prokazují splnění požadavku je detail vyhovující.

6.2. Varianty řešení

Ověří se pouze několik variant výpočtu a těmi jsou:

1. Stávající stav
2. Navržený zateplený stav bez vnitřních zisků

6.3. Metody výpočtů

Veškeré výpočty jsou provedeny ve výpočetním 2D softwaru pro dynamické modelování dvojrozměrného šíření tepla ve stavebních konstrukcích a materiálech Wufi2D. Výpočetní postupy softwaru vycházejí z Kunzelova numerického modelu, který splňuje všechny požadavky normy ČSN EN 15026. Tato norma přesně určuje, jak se hodnotí šíření tepla a vlhkosti vícevrstvou stavební konstrukcí pomocí numerické simulace. Jedná se o pokročilejší metodu výpočtu, která poskytuje přesnější a skutečnější výsledky, jelikož uvažuje s akumulací tepla a vlhkosti. [11]

Detail je zpracován do matematického modelu, kde jsou simulovány proměnlivé okrajové podmínky. Dále jsou sledována kritická místa nejnižší vnitřní povrchové teploty a vyhodnocováno chování modelovaného detailu.

Pro vyrovnání počátečních teplot materiálu a přesné výsledky jsou výpočty provedeny v období od 01. 01. 2015 do 01. 01. 2019. Období, ve kterém jsou zkoumány vnitřní povrchové teploty je od 01. 10. 2017 do 01. 05. 2018.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota není porovnávána s kritickou hodnotou stanovenou normou. Kritická povrchová teplota pro riziko vzniku plísní je stanoveno pouze z teploty vnitřního vzduchu a relativní vlhkosti ze vztahů z psychometrického diagramu profesora Chyského. Výpočty jsou zpracovány v podobě excelového programu firmy C.I.C. od Jana Hřebce. [10] Je určena pro tři předpokládané relativní vlhkosti, a to pro 45 %, 50 % a 55 %. viz příloha 4.

6.4. Vstupní údaje

Klimatické údaje jsou zadány dle naměřených hodinových hodnot v Praze pro rok 2003. Tato data jsou získána ve formátu programu Wufi ze školních podkladů pro cvičení z předmětu Stavební tepelná technika 2. [12] V interiéru nad suterénem je uvažována konstantní návrhová teplota 20 °C, jako tomu je u výpočtu v ustáleném stavu. V suterénu jsou hodnoty uvažovány ve tvaru sinusoidy. Ve stávajícím stavu se střední hodnotou 19 °C a amplitudou 1 °C. Rozptyl hodnot je zvolen přibližně dle naměřených hodnot z grafu 1.

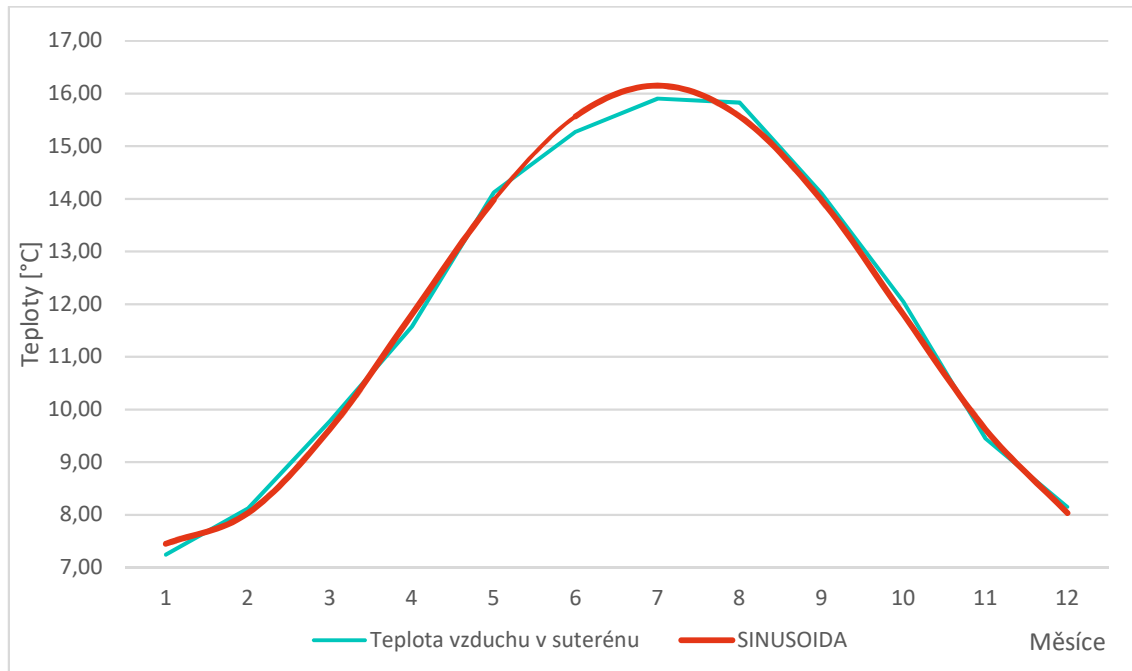
Sinusoida teplot vzduchu v suterénu pro navržený stav je určena výpočtem viz. příloha 7. Pro určení správného tvaru sinusoidy jsou nejprve vypočítány průměrné venkovní měsíční teploty z naměřených klimatických dat pro Prahu. Z venkovních průměrných měsíčních teplot jsou vypočítány pomocí bilanční rovnice průměrné teploty vzduchu v suterénu pro každý měsíc.

Tabulka 16 - teploty vzduchu v suterénu z naměřených klimatických dat

měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
ϑ_u [°C]	7,24	8,12	9,78	11,58	14,12	15,27	15,90	15,83	14,10	12,05	9,45	8,15

Z vypočtených hodnot se určil tvar a umístění sinusoidy tak, aby se křivky hodnot co nejvíce podobaly. Průměrná hodnota $P=11,8$, amplituda $A=4,35$, nejvyšší uvažovaná teplota vzduchu v suterénu na sinusoidě nastane 1. července.

Graf 8 - určení umístění sinusoidy dle teploty vzduchu v suterénu



6.5. Zjednodušení a úpravy

Jelikož softwary mají odlišné databáze materiálů, jsou jejich vlastnosti přebrány z předchozích výpočtů z výpočetního softwaru Area. Tím jsou eliminovány případné chyby z důvodu použití odlišných vlastností materiálu. Porozita a další tepelně technické vlastnosti jsou zvoleny z podobných materiálů databáze Wufi.

Výpočet započne počátečními podmínkami, které určují počáteční stav konstrukce a dále určují jejich vývoj v čase. Počáteční podmínky oblastí ve výpočtech jsou uvažovány o teplotě 20 °C a měrné vlhkosti odpovídající relativní vlhkosti 80 %. Orientace detailu je uvažovaná na sever, ale veškeré hodnoty na ní závislé jsou ve výpočtech zanedbány. Těmito hodnotami jsou absorpce krátkovlnného záření, dlouhovlnného záření a také absorpce ulpělého deště.

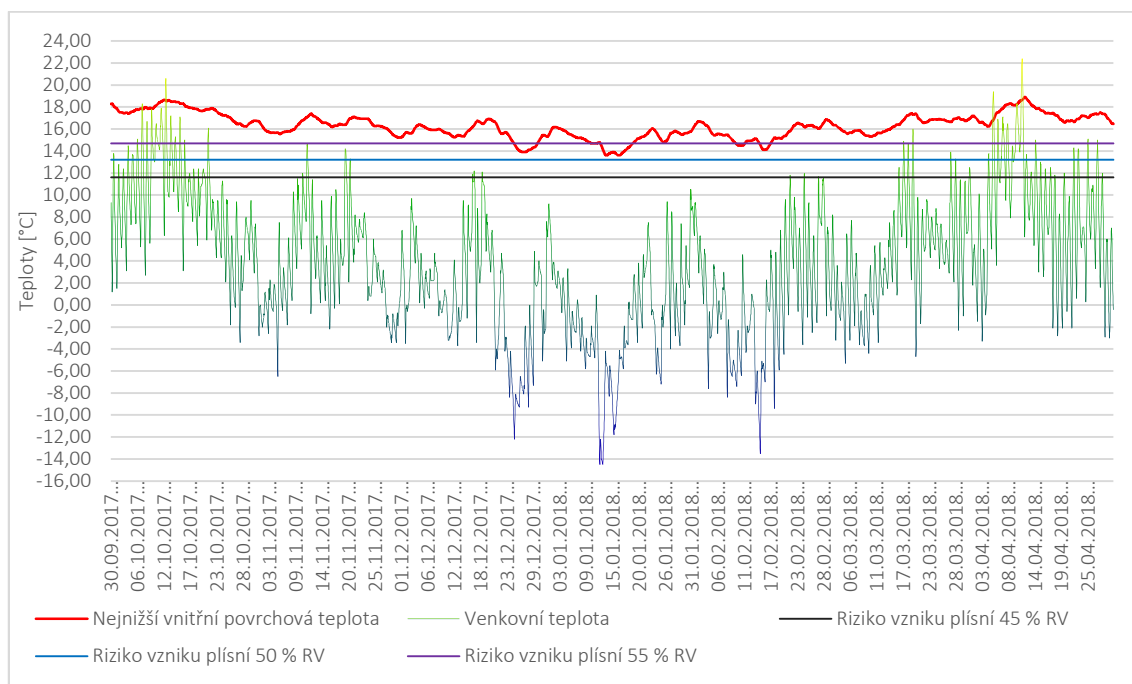
Odpory při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce pro výpočet šíření vlhkosti a rizika růstu plísní jsou určeny dle tabulky J.1 z normy ČSN 730540-3. Pro vnitřní povrch stavební konstrukce je hodnota $R_{se}=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, pro vnitřní povrch výplně otvoru je hodnota $R_{se}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. Odpory na přestupu tepla na vnější straně $R_{si}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Těmito úpravami zanedbávám proměnlivost vlivu větru.

Pro dosažení přesných výsledků je nutné provést korekci výpočtového modelu. Matematický model by se měl ověřit na skutečně naměřených hodnotách. Poté se model upraví tak, aby se výsledky shodovaly s naměřenými hodnotami skutečné povrchové teploty. V tomto případě takové úpravy nejsou provedeny, jelikož vnitřní povrchové teploty nejsou naměřeny.

6.6. Výsledky výpočtů

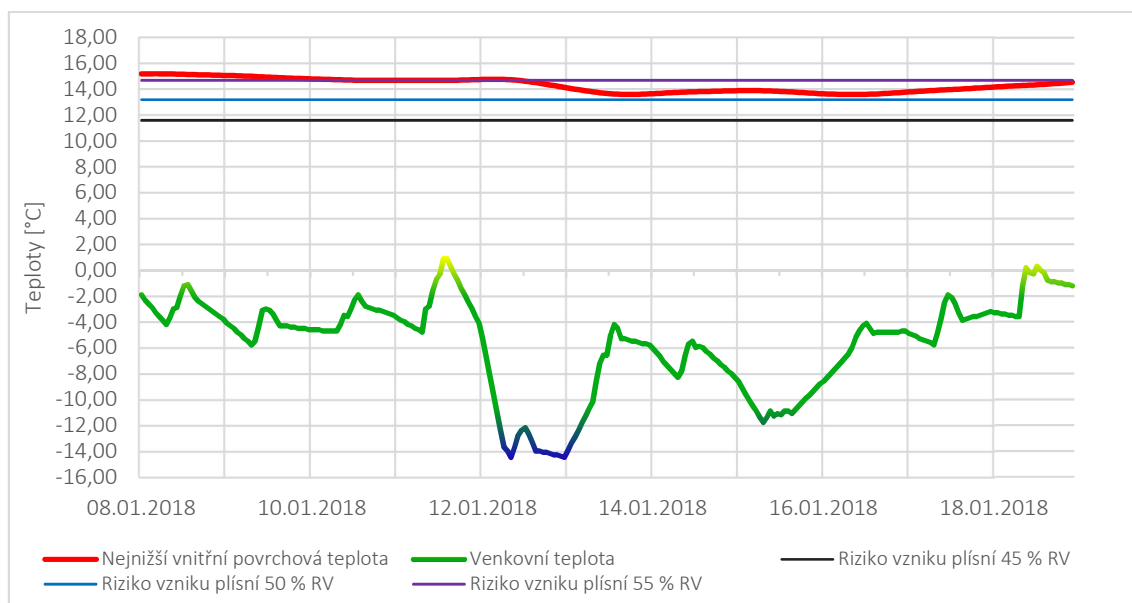
6.6.1. Stávající stav

Graf 9 - venkovní teploty a vypočítané vnitřní povrchové teploty ve stávajícím stavu v zimním období



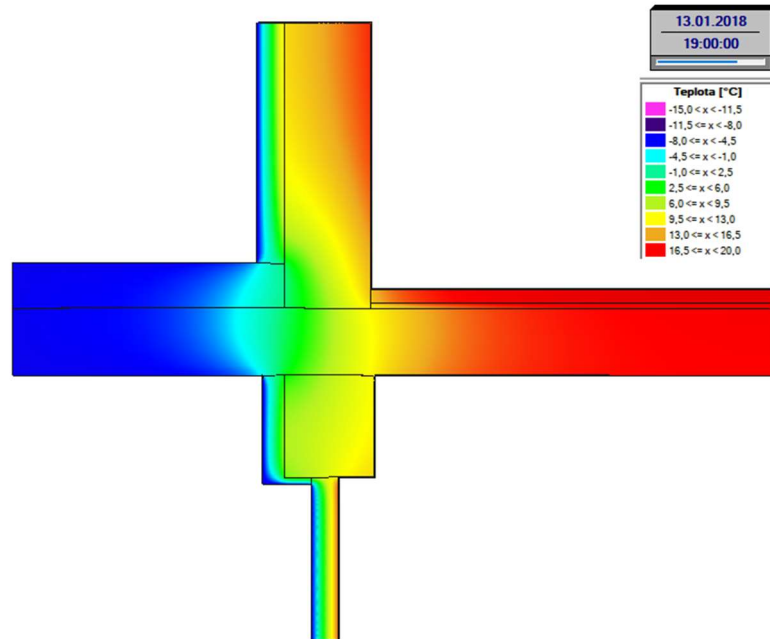
V grafu 9 je znázorněn průběh venkovní teploty vzduchu a vnitřní povrchové teploty v sedmi nejchladnějších měsících. V grafu jsou také znázorněny tři kritické povrchové teploty pro riziko vzniku růstu plísní dle různých relativních vlhkostí v interiéru. Je zřejmé, že dochází k výraznému poklesu venkovní teploty a vnitřní povrchové teploty několikrát. Nejnižších hodnot poklesy dosahují v období od 08. 01. 2018 do 18. 01. 2018. Pro lepší přehlednost v tomto období je proveden výřez z tohoto grafu.

Graf 10 - výřez z grafu 9 v období 08.-18. 01. 2018



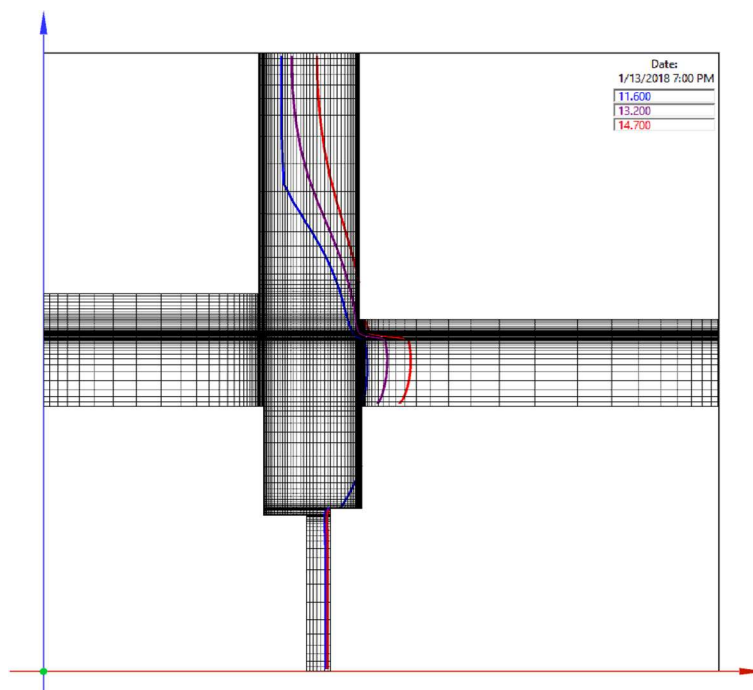
Konstrukce detailu ve stávajícím stavu splňuje požadavky v případě, že relativní vlhkost v interiéru dosahuje nejvýše 50 %. V tom případě nedochází ke vzniku rizika plísní na vnitřním povrchu konstrukce. Pokud relativní vlhkost v interiéru přesáhne tuto hodnotu vzniká riziko růstu plísní.

Na obrázku 16 jsou zobrazeny průběhy teplot v době, kdy je nejnižší vnitřní povrchová teplota minimální. Což nastává 13. 01. 2018 v 19:00.



Obrázek 16 - 2D teplotní pole stávajícího stavu

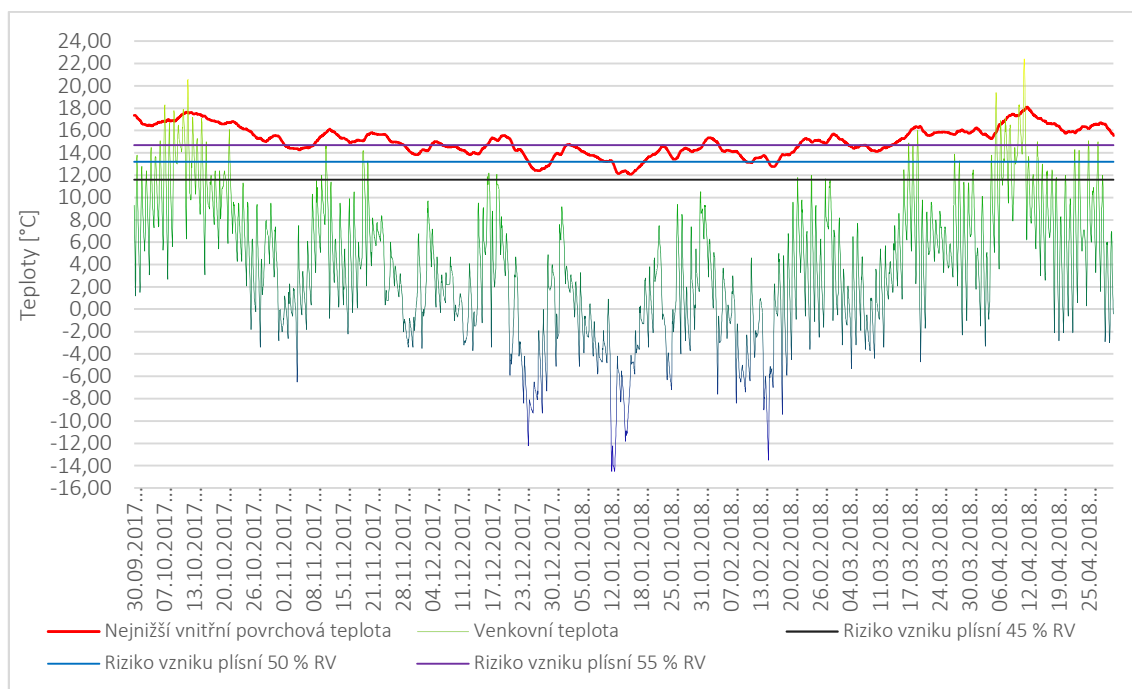
Izotermy na obrázku 17 v téže době potvrzují splnění požadavků pouze do relativní velikosti 50 %.



Obrázek 17 - izotermy stávajícího stavu

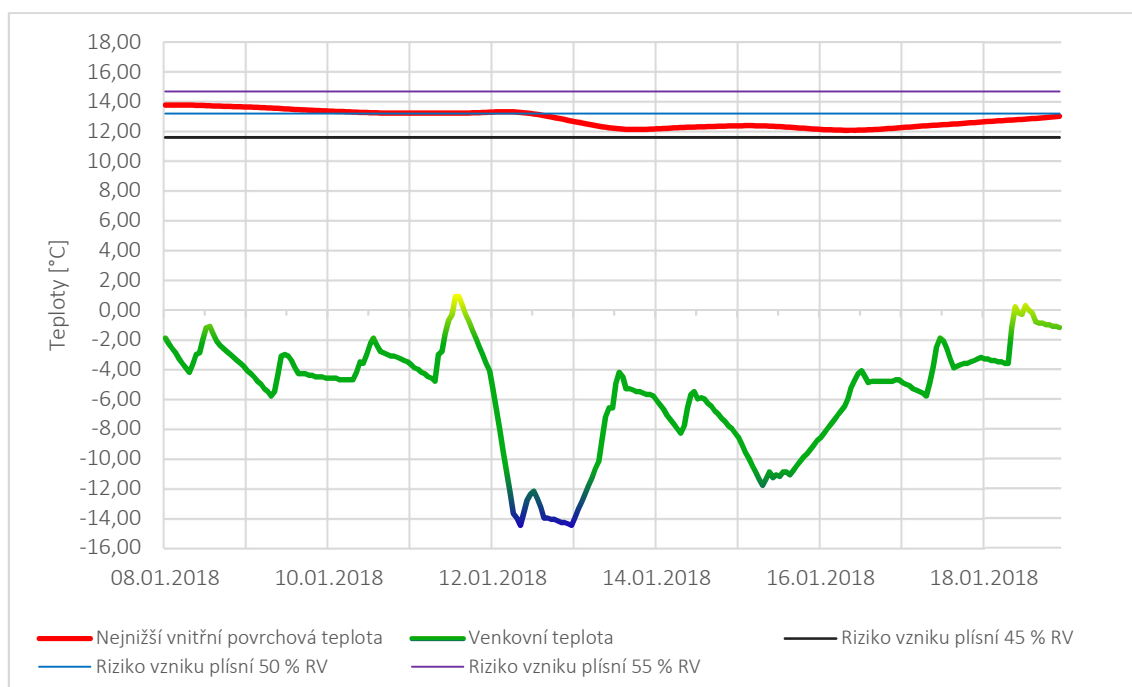
6.6.2. Navrhovaný stav

Graf 11 - venkovní teploty a vypočítané vnitřní povrchové teploty v navrhovaném stavu v zimním období



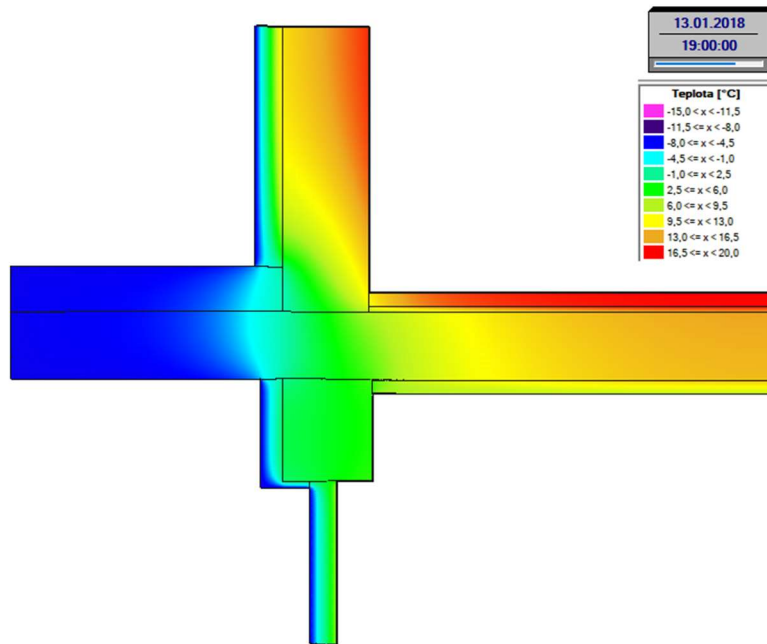
Z grafu 11 je zřejmé, že dochází ke stejným výrazným poklesům venkovní teploty a vnitřní povrchové teploty jako v grafu 9. Křivka nejnižších vnitřních povrchových teplot v navrhovaném stavu je oproti téže křivce ve stávajícím stavu přibližně o 1 °C chladnější. Nejnižších hodnot poklesy dosahují ve stejném období jako ve stávajícím stavu. Pro lepší přehlednost a prověření, zda nejnižší vnitřní povrchové teploty splňují požadavky, je v tomto období proveden výřez z grafu.

Graf 12 - výřez z grafu 11 v období 08.-18. 01. 2018



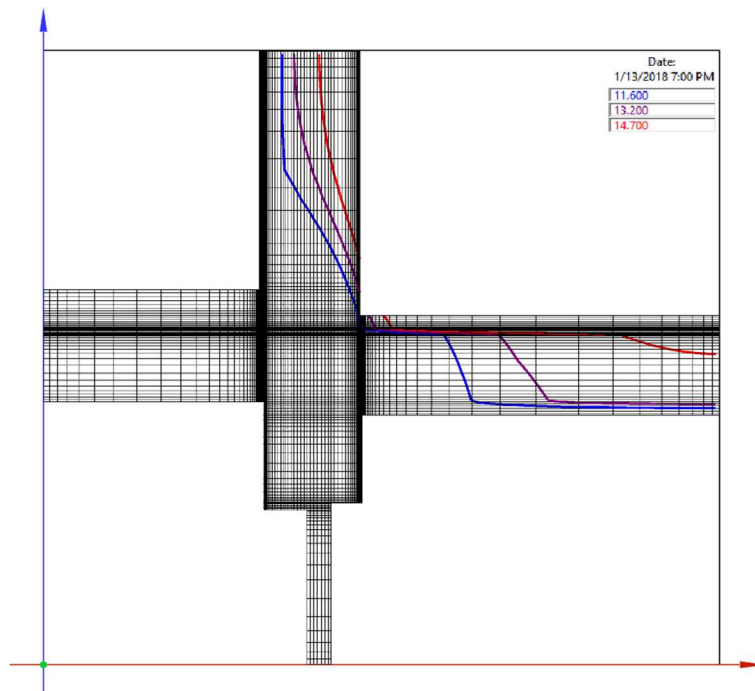
Z výřezu v místě poklesu teplot je zřetelné, že vnitřní povrchové teploty splňují požadavek na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu pouze pro 45 % relativní vlhkost v interiéru. Nejnižší dosažená vnitřní povrchová teplota v období poklesu je 12,08 °C. Při vyšších relativních vlhkostech je povrchová teplota pod kritickou hodnotou a vzniká riziko růstu plísní.

Na obrázku 18 jsou zobrazeny průběhy teplot v době, kdy je nejnižší vnitřní povrchová teplota minimální. Což nastává 13. 01. 2018 v 19:00.



Obrázek 18 - 2D teplotní pole navrhovaného stavu

Izotermy na obrázku 19 v téže době potvrzují splnění požadavků pouze pro relativní vlhkost v interiéru do 45 %.



Obrázek 19 - izotermy navrhovaného stavu

6.7. Dílčí závěr

Kritická teplota pro riziko růstu plísní je závislá na relativní vlhkosti vnitřních prostor. Relativní vlhkost tedy určuje, zda výsledky výpočtů nejnižší vnitřní povrchové teploty jak ve stávajícím stavu, tak i v navrhovaném jsou vyhovující. Pro normově uvažovanou relativní vlhkost 50 % je stávající stav vyhovující, ale navržený stav již ne. Pro určení, zda je potřeba v místě kritického detailu provést opatření, která zvýší vnitřní povrchovou teplotu tak, aby nedocházelo k růstu plísní, je nutné provést měření relativních vlhkostí v interiéru.

V grafech lze spatřit takzvaný fázový posun křivky teplot, který je způsoben vlivem tepelné akumulace konstrukcí. Výrazné snížení venkovní teploty se na vnitřní povrchové teplotě projeví po uplynutí přibližně 24 hodin.

Výsledky výpočtů se mohou oproti skutečnosti lišit, protože matematický model je velmi citlivý na drobné pochybení v zadaných parametrech. Také mohou mít odchylku z toho důvodu, že nejsou provedeny korekce výpočtového modelu tak, aby se výsledky shodovaly s naměřenými hodnotami skutečné povrchové teploty.

7. Závěr

Výše provedené výpočty zjišťují, zda navržené zateplení stropní konstrukce v suterénu způsobí snížení vnitřní povrchové teploty stěny nad suterénem v řešeném detailu a jestli nedojde k riziku vzniku plísní. Nejprve je spočítána teplota vzduchu v suterénu pro stávající stav, navrhovaný stav a navrhovaný stav bez vnitřních tepelných zisků podle návrhové venkovní teploty. Jelikož z návrhové venkovní teploty nelze získat teplotu vzduchu v suterénu, která by mohla skutečně nastat, je provedena další sada výpočtů z průměrných měsíčních venkovních teplot. Z těchto výpočtů jsou použity lednové hodnoty pro stanovení nejnižší vnitřní povrchové teploty kritického detailu. Z výsledků výpočtu je zřejmé, že zateplení stropní konstrukce má vliv na teplotu vzduchu v suterénu.

Dále jsou provedeny výpočty nejnižší vnitřní povrchové teploty v ustáleném stavu z návrhových hodnot a z průměrných měsíčních hodnot venkovní teploty vzduchu. Podle výpočtů v ustáleném stavu z návrhových hodnot je již stávající stav nevyhovující a v detailu může docházet k tvorbě plísní. Podle výsledků výpočtů z měsíčních venkovních teplot je nejnižší vnitřní povrchová teplota vyhovující. Jsou provedeny také výpočty, kde se uvažuje s krátkodobým poklesem venkovní teploty na návrhovou hodnotu a s nejnižší průměrnou měsíční teplotou v suterénu. Následně také s poklesem teploty vzduchu v suterénu vlivem nízkých venkovních teplot o 3 °C. V obou případech je navrhovaný stav se zateplenou stropní konstrukcí nevyhovující. Po výpočtech v ustáleném stavu jsou navržena různá opatření proti ochlazení povrchu konstrukce pod kritickou teplotu. Tato opatření jsou navrhována tak, aby vyhovovaly za působení okrajových podmínek poslední předpokládané varianty. Jedno z navržených opatření je vybráno jako nejvhodnější, a to kombinace dvou variant, kde se zateplí obvodová stěna v místě roznášecí vrstvy a zároveň se provede zateplení na vnitřním povrchu v místě rizika vzniku plísní.

Poté je detail zpracován pomocí matematického modelu, kde jsou simulovány proměnlivé okrajové podmínky. Výpočty jsou provedeny pro stávající stav a navrhovaný stav. Výsledky výpočtů jsou zpracovány do grafů a porovnány s kritickými povrchovými teplotami. V průběhu výpočtů vyšlo najevo, že nelze použít normovou hodnotu ani jednoznačně určit kritickou povrchovou teplotu, při které by mohlo docházet k riziku vzniku plísní. Normová hodnota je určena z venkovní výpočtové teploty, která v dynamickém stavu je proměnná. Kritická povrchová teplota je závislá na relativní vlhkosti v interiéru, a proto je stanovena pro 45 %, 50 % a 55 % relativní vlhkosti. Pro některé z těchto kritérií je povrchová teplota vyhovující a pro některé ne. Je obtížné určit, zda je teplota vyhovující, jelikož není zjištěno, jaká je relativní vlhkost v interiéru ani v jakém rozmezí by se mohla pohybovat. Proto se v tomto případě z hlediska nejmenší náročnosti provedení a jako nejlepší opatření po zateplení stropní konstrukce jeví topný kabel s výkonem 10 W/m. Toto opatření může udržovat teplotu povrchu tak vysoko, aby k riziku vzniku plísní nemohlo dojít.

Je zřejmé, že metoda výpočtů dle návrhových hodnot v ustáleném stavu není pro tento typ výpočtů vhodná, jelikož uvažuje s nejnižší možnou venkovní teplotou vzduchu konstantně. Její výsledky jsou nereálné, jelikož neuvažuje s tepelnou jímavostí konstrukcí. Průběh teplot podle této metody v jednotlivých vrstvách konstrukce je lineární. Výpočty v ustáleném stavu po měsících se blíží nejhoršímu možnému skutečnému stavu. Přesto stále dostatečně nevystihují situace, které mohou skutečně nastat. Výsledků nejvíce se blížících skutečnosti je dosaženo pomocí dynamického výpočetního modelu. Tato metoda již zahrnuje akumulaci tepla a vlhkosti konstrukcí. Pomocí těchto výpočtů je možné zjistit, jak konstrukcemi probíhají teploty v závislosti na čase. Lze také určit tyto hodnoty pro konkrétní vybrané místo. S přesností na hodinu je možné zjistit, kdy je vybrané místo nejchladnější a po jakou dobu. Tyto výsledky jsou důležité pro správné řešení navržených stavebních úprav.

Určení, zda nejnižší vnitřní povrchové teploty v dynamickém stavu jsou vyhovující je složité. Kritická teplota pro vznik rizika růstu plísní je závislá na relativní vlhkosti vnitřních prostor. Ta je závislá na tom, jak je prostor užíván. Pokud se prostor nevětrá a při tom obsahuje spoustu zdrojů vlhkosti, může docházet k navýšení relativní vlhkosti. Jestliže se prostor dostatečně větrá a zároveň dobře vytápí, může být relativní vlhkost o dost nižší, než je návrhová hodnota. Proto není jednoznačné, zda povrchové teploty jsou vyhovující, či ne.

Z postupů a zadaných vstupních údajů je jasné, že lze dosáhnout ještě přesnějších výsledků. Dosáhne se toho tím, že se zpřesní vstupní údaje a provede korekce výpočtového modelu. Měla by se provést řada dalších měření venkovních teplot, teplot vzduchu v suterénu a nejnižších vnitřních povrchových teplot, nejlépe v průběhu celého roku. Taktéž by mělo proběhnout měření relativních vlhkostí ve stejném rozložení. Naměřená data venkovních teplot a relativních vlhkostí vzduchu by se použila nejprve pro výpočet teploty a relativní vlhkosti vzduchu v suterénu v neustáleném stavu. Dále by se provedla korekce výpočtového modelu tak, aby vypočtené teploty v suterénu ve stávajícím stavu odpovídaly naměřeným teplotám. Tímto se dosáhne nejpřesnějších výsledků teploty vzduchu v suterénu v navrhovaném stavu. Následně se může uskutečnit výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty z naměřených venkovních teplot vzduchu a vypočtených teplot vzduchu v suterénu. Zkontroluje se, zda vypočtené nejnižší vnitřní povrchové teploty odpovídají naměřeným teplotám. Provedou se případné drobné korekce výpočtového modelu. Poté je možné výpočtový model použít pro ověřování návrhů. Průběh venkovních naměřených teplot a vlhkostí nemusí odpovídat typickému roku. Proto se v následujících výpočtech mohou použít jiná venkovní vstupní data. Změnu lze provést také v případě, kdy je potřeba zjistit chování konstrukce v nejnepříznivějších podmínkách. V případě změny venkovních vstupních údajů se musí realizovat kompletní přepočítání všech vstupních údajů na nich závislých. Pro správné vyhodnocení výsledků je nutné uvažovat s relativní vlhkostí v hodnoceném místě. K určení, zda může docházet k tvorbě plísní je také potřeba zjistit po jakou dobu jsou v hodnoceném místě nevyhovující hodnoty vlhkostí a teplot.

Bibliografie

- [1] ING. ONDŘEJ ZÁSTĚRA. *PŮDORYS SUTERÉNU: DOKUMENTACE PRO PROVÁDĚNÍ STAVBY - SNÍŽENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BYTOVÉHO DOMU - SUTERÉN*. 01. 2018.
- [2] ČSN EN ISO 13370: *Tepelně technické vlastnosti budov. Šíření tepla zeminou. Výpočtové metody*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2008.
- [3] KVĚTOŇ, Josef. *Normály teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000*. 1.vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2001. ISBN 80-85813-91-2.
- [4] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Územní teploty v roce 2018* [online]. b.r. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [5] B. ČSN 42 5710: *Trubky ocelové závitové běžné. Rozměry*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1982.
- [6] Ocelové trubky závitové běžné a bezešvé: Karel Laboutka, Tomáš Suchánek. *TZBINFO* [online]. b.r. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/16-ocelove-trubky-zavitove-bezne-a-bezesve>
- [7] Vyhláška č. 193/2007 Sb.: kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. In: Č. 62/2007. b.r.
- [8] ČSN EN ISO 6946: *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [9] PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH: Orstech LSP 40. *Www.isover.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/isover_orstech_lsp_40_dop_cz.pdf
- [10] HXdiagram. *C.I.C. Jan Hřebec s.r.o.* [online]. b.r. Dostupné také z: <http://www.cic.cz/wp-content/uploads/2019/04/HXdiagram.xls>
- [11] SLANINA, Petr. *WUFI a normy v ČR* [online]. b.r. Dostupné také z: http://www.wuforum.com/viewtopic.php?f=17&t=371&fbclid=IwAR3S_zmAVwtXgTzZ3B77XGybEINITaiUnZRwVChbMgwGLigwFzF85JWFi58
- [12] *Katedra Konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze: Stavební tepelná technika 2* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=obor&type=o-b&kod=124ST2B>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - schéma kritického detailu.....	9
Obrázek 2 - podklad půdorysu 1.PP [1].....	10
Obrázek 3 - schéma tepelných toků – řez.....	12
Obrázek 4 - půdorysné schéma s kótami a průměry potrubí [1]	17
Obrázek 5 - umístění měřicího přístroje v půdorysu [1]	19
Obrázek 6 - schéma kritického detailu.....	26
Obrázek 7 - schéma kritického detailu balkonu.....	29
Obrázek 8 - zateplení věnce	32
Obrázek 9 - zateplení v místě roznášecí vrstvy	32
Obrázek 10 - zateplení pod roznášecí vrstvou	33
Obrázek 11 - zateplení balkonu obalením	33
Obrázek 12 - zateplení horního a spodního povrchu balkonové desky	34
Obrázek 13 - zateplení na vnitřním povrchu v místě rizika vzniku plísně	34
Obrázek 14 - vyhřívání rohoží v místě rizika vzniku plísně	35
Obrázek 15 - zateplení na vnitřní straně v místě rizika vzniku plísně + zateplení v místě roznášecí vrstvy	35
Obrázek 16 - 2D teplotní pole stávajícího stavu	43
Obrázek 17 - izotermy stávajícího stavu	43
Obrázek 18 - 2D teplotní pole navrhovaného stavu	45
Obrázek 19 - izotermy navrhovaného stavu	45

Seznam grafů

Graf 1 - skutečně naměřené hodnoty teplot v suterénu – denní průměry/celkové průměry....	19
Graf 2 - porovnání tepelných toků tří výpočtových variant	23
Graf 3 - výsledky výpočtu teploty vzduchu v suterénu všech variant a naměřené teploty	24
Graf 4 - měsíční teploty vzduchu v suterénu a venkovní průměrné měsíční teploty z publikace NKP ČR 30 - V. Květoň	24
Graf 5 - průběhy měsíčních teplot z citlivostní analýzy.....	25
Graf 6 - výřez průběhu teplot z grafu 1.....	28
Graf 7 - potřeba energie na ohřátí detailu.....	38
Graf 8 - určení umístění sinusoidy dle teploty vzduchu v suterénu.....	40
Graf 9 - venkovní teploty a vypočítané vnitřní povrchové teploty ve stávajícím stavu.....	42
Graf 10 - výřez z grafu 9 v období 08.-18. 01. 2018	42
Graf 11 - venkovní teploty a vypočítané vnitřní povrchové teploty v navrhovaném stavu.....	44
Graf 12 - výřez z grafu 11 v období 08.-18. 01. 2018	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 - tabulka tepelných toků.....	12
Tabulka 2 - popis variant citlivostní analýzy.....	16
Tabulka 3 - přehled velikostí trubek, jejich rozměrů a hmotností [5] [6]	17
Tabulka 4 - požadované hodnoty součinitele prostupu tepla potrubím [7]	18
Tabulka 5 - tepelné odpory při přestupu tepla [8].....	18
Tabulka 6 - tabulka průměrných měsíčních teplot vzduchu roku 2018 ve srovnání s normálem 1981–2010 [4]	18
Tabulka 7 - průměrné venkovní teploty pro lokality po měsících převzaty z publikace NKP ČR 30 - V. Květoň [3].....	18
Tabulka 8 - tepelné toky ve variantách	21
Tabulka 9 - výsledky výpočtů teploty vzduchu v suterénu v ustáleném stavu	21
Tabulka 10 - výsledky výpočtů teploty vzduchu v suterénu po měsících	21
Tabulka 11 - tabulka výsledků citlivostní analýzy	22
Tabulka 12 - limitní hodnoty teplot z citlivostní analýzy.....	25
Tabulka 13 - tabulka teplot pro výpočtové varianty	30
Tabulka 14 - výsledky výpočtů nejnižší vnitřní povrchové teploty dle variant	31
Tabulka 15 - výsledky výpočtu vnitřní povrchové teploty dle řešení.....	37
Tabulka 16 - teploty vzduchu v suterénu z naměřených klimatických dat	40

Příloha č. 1 – Výpočet tepelného toku od potrubí

1. Potrubí s původní tepelnou izolací

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN50			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0602	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00365	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,1002	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,02	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,112	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,96	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN32			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0424	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00325	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0824	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,02	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,112	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,75	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN25			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0337	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00325	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0737	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,02	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,112	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,65	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN20			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0269	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00265	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0669	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,02	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,112	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,56	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN15			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0214	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00265	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0614	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,02	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,112	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,50	W/mK

Součinitele prostupu tepla potrubí			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
U_0	DN50	0,96	W/mK
U_0	DN32	0,75	W/mK
U_0	DN25	0,65	W/mK
U_0	DN20	0,56	W/mK
U_0	DN15	0,50	W/mK

Měrná tepelná ztráta - potrubí přívodní H_1			
DN	U_o [W/mK]	l [m]	H_1 [W/K]
50	0,96	30,21	28,99
32	0,75	9,92	7,45
25	0,65	3,51	2,27
20	0,56	3,51	1,98
15	0,50	7,02	3,48
$\Sigma=$			44,18

Měrná tepelná ztráta - potrubí zpětné H_2			
DN	U_o [W/mK]	l [m]	H_2 [W/K]
50	0,96	14,4	13,82
32	0,75	10,28	7,72
25	0,65	6,66	4,31
20	0,56	6,66	3,76
15	0,50	0	0,00
$\Sigma=$			29,61

2. Potrubí s novou tepelnou izolací

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN50			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0602	m
s_t	Tloušťka stěny	0,00365	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,1602	m
s_{iz}	Tloušťka izolace	0,05	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,056	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_o	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,34	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN32			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0424	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00325	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,1224	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,04	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,056	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,31	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN25			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0337	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00325	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0917	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,029	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,056	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,31	W/mK

Součinitel prostupu tepla potrubí - DN20			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0269	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00265	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0849	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,029	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,056	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_0	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,27	W/mK

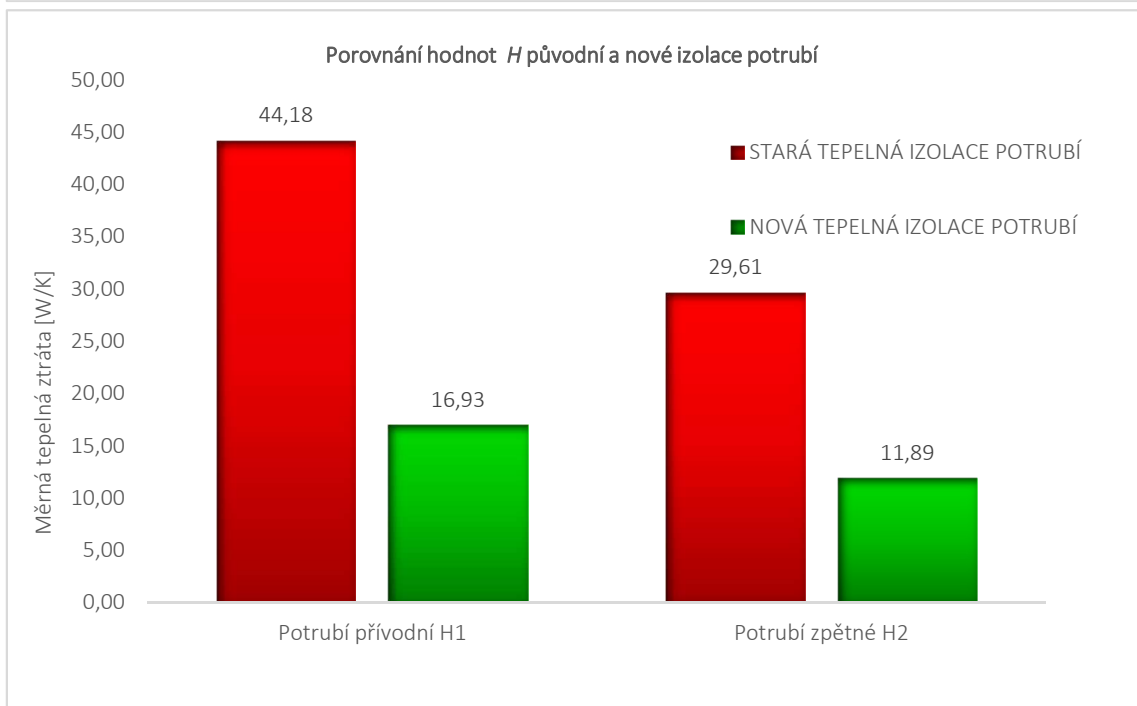
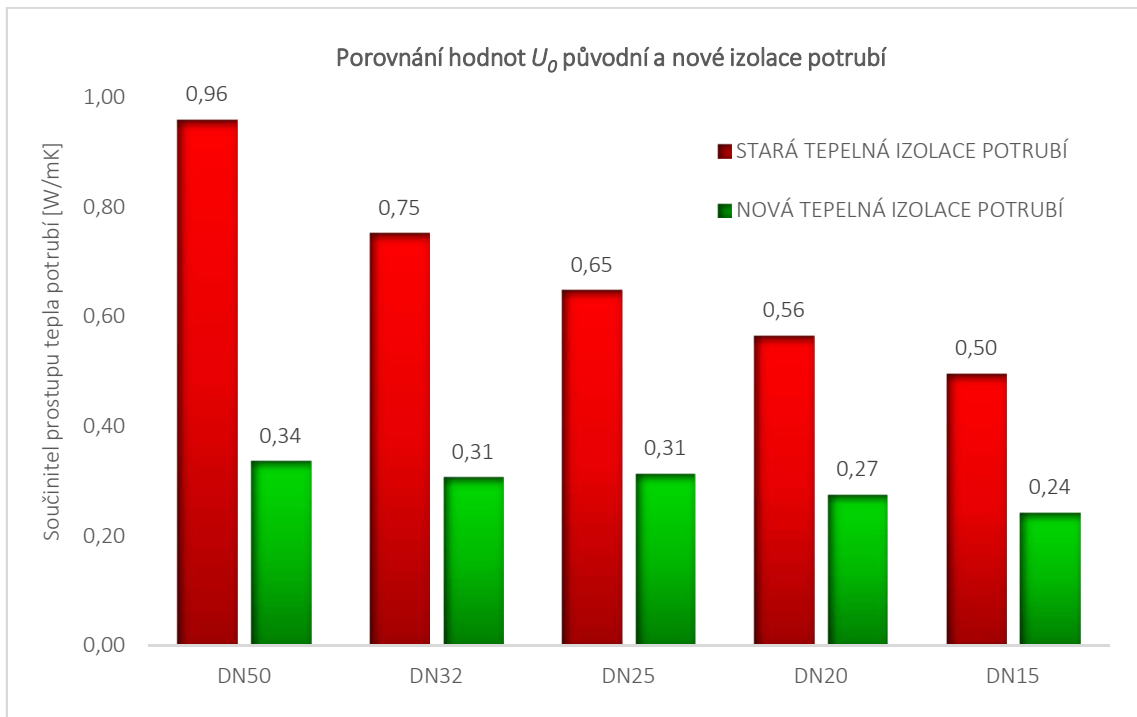
Součinitel prostupu tepla potrubí - DN15			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
d	Vnější průměr potrubí	0,0214	m
S_t	Tloušťka stěny	0,00265	m
D	Průměr potrubí včetně izolace	0,0794	m
S_{iz}	Tloušťka izolace	0,029	m
λ_t	Součinitel tepelné vodivosti trubky	50	W/mK
λ_{iz}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,056	W/mK
α_e	Přestup tepla mezi povrchem potrubí a okolním prostředím	10	W/m ² K
U_o	Součinitel prostupu tepla potrubí	0,24	W/mK

Součinitele prostupu tepla potrubí			
OZN	POPIS	HODNOTA	JEDNOTKY
U_o	DN50	0,34	W/mK
U_o	DN32	0,31	W/mK
U_o	DN25	0,31	W/mK
U_o	DN20	0,27	W/mK
U_o	DN15	0,24	W/mK

Měrná tepelná ztráta - potrubí přívodní H_1			
DN	U_o [W/mK]	l [m]	H_1 [W/K]
50	0,34	30,21	10,13
32	0,31	9,92	3,03
25	0,31	3,51	1,10
20	0,27	3,51	0,96
15	0,24	7,02	1,70
$\Sigma=$			16,93

Měrná tepelná ztráta - potrubí zpětné H_2			
DN	U_o [W/mK]	l [m]	H_2 [W/K]
50	0,34	14,4	4,83
32	0,31	10,28	3,14
25	0,31	6,66	2,09
20	0,27	6,66	1,83
15	0,24	0	0,00
$\Sigma=$			11,89

3. Porovnání výsledků



Příloha č. 2 - výpočet teploty vzduchu v suterénu z výpočtových hodnot

1. Vstupní hodnoty

OZN	POPIS	HODNOTA VARIANTY			JEDNOTKY
		A - stávající stav	B - zateplený strop a zateplené otopné potrubí	C - zateplený strop, zanedbané vnitřní tepelné zisky	
Teploty prostředí					
ϑ_i	Teplota interiéru	20	20	20	°C
ϑ_{t1}	Teplota média - potrubí přívodní	60	60	-	°C
ϑ_{t2}	Teplota média - potrubí zpětné	40	40	-	°C
ϑ_{e1}	Průměrná teplota exteriéru leden	-1,7	-1,7	-1,7	°C
ϑ_{e2}	Průměrná teplota exteriéru únor	-0,1	-0,1	-0,1	°C
ϑ_{e3}	Průměrná teplota exteriéru březen	3,6	3,6	3,6	°C
ϑ_{e4}	Průměrná teplota exteriéru duben	8,1	8,1	8,1	°C
ϑ_{e5}	Průměrná teplota exteriéru květen	13	13	13	°C
ϑ_{e6}	Průměrná teplota exteriéru červen	16,3	16,3	16,3	°C
ϑ_{e7}	Průměrná teplota exteriéru červenec	17,9	17,9	17,9	°C
ϑ_{e8}	Průměrná teplota exteriéru srpen	17,3	17,3	17,3	°C
ϑ_{e9}	Průměrná teplota exteriéru září	13,6	13,6	13,6	°C
ϑ_{e10}	Průměrná teplota exteriéru říjen	8,7	8,7	8,7	°C
ϑ_{e11}	Průměrná teplota exteriéru listopad	3,6	3,6	3,6	°C
ϑ_{e12}	Průměrná teplota exteriéru prosinec	0,2	0,2	0,2	°C
$\bar{\vartheta}_i$	Průměrná roční teplota vnitřního vzduchu	17,00	13,00	11,00	°C
$\bar{\vartheta}_e$	Průměrná roční teplota venkovního vzduchu	8,38	8,38	8,38	°C
Stropní konstrukce					
d_{podl}	Tloušťka tepelné (kročejové) izolace podlahy	0,02	0,02	0,02	m
λ_{podl}	Součinitel tepelné vodivosti izolace podlahy	0,05	0,05	0,05	W/mK
d_{str}	Tloušťka stropního panelu	0,3	0,3	0,3	m
λ_{str}	Součinitel tepelné vodivosti panelu	1,2	1,2	1,2	W/mK
d_{str_ti}	Tloušťka stropní izolace	0	0,05	0,05	m
λ_{str_ti}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0	0,047	0,047	W/mK
R_{str}	Tepelný odpor stropu	0,65	1,71	1,71	m ² K/W
U_{str}	Součinitel prostupu tepla stropu	1,16	0,52	0,52	W/m ² K
A_{str}	Plocha stropní konstrukce	149,16	149,16	149,16	m ²
Potrubí					
H_1	Měrná tepelná ztráta - potrubí přívodní	44,18	16,93	-	W/K
H_2	Měrná tepelná ztráta - potrubí zpětné	29,61	11,89	-	W/K

OZN	POPIS	HODNOTA VARIANTY			JEDNOTKY
		A	B	C	
Stěna					
d_{st_ti}	Tloušťka izolace na stěně	0,08	0,08	0,08	m
λ_{st_ti}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,04	0,04	0,04	W/mK
d_{st}	Tloušťka stěnové konstrukce	0,3	0,3	0,3	m
λ_{st}	Součinitel tepelné vodivosti betonu	1,3	1,3	1,3	W/mK
R_{st}	Tepelný odpor stěny	2,23	2,23	2,23	m ² K/W
U_{st}	Součinitel prostupu tepla stěny	0,42	0,42	0,42	W/m ² K
P	Exponovaný obvod podlahy	44,82	44,82	44,82	m
v_{st}	Výška stěny	1,40	1,40	1,40	m
A_{st}	Plocha stěny	62,75	62,75	62,75	m ²
Okna					
U_{ok}	Součinitel prostupu tepla okna	1,7	1,7	1,7	W/m ² K
A_{ok}	Plocha oken	7,02	7,02	7,02	m ²
Větrání					
ρ	Objemová hmotnost vzduchu	1,2	1,2	1,2	kg/m ³
V	Objem vzduchu suterénu	507,14	507,14	507,14	m ³
c	Měrná tepelná kapacita vzduchu	1 010,00	1 010,00	1 010,00	J/kgK
n	Násobnost výměny vzduchu	0,1	0,1	0,1	h ⁻¹
Stěny v kontaktu se zemínou					
U_{bf}	Součinitel prostupu tepla podlahy suterénu	0,31	0,31	0,31	W/m ² K
λ	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	2	2	2	W/mK
d_w	Celková ekvivalentní tloušťka – stěny suterénu	0,34	0,34	0,34	m
R_{siw}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně stěny	0,13	0,13	0,13	m ² K/W
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně	0,04	0,04	0,04	m ² K/W
R_w	Tepelný odpor stěny v kontaktu se zemínou	0	0	0	m ² K/W
Podlaha v kontaktu se zemínou					
U_{bw}	Součinitel prostupu tepla stěn suterénu v kontaktu se zemínou	1,40	1,40	1,40	W/m ² K
λ	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	2	2	2	W/mK
d_t	Celková ekvivalentní tloušťka – podlahy na terénu	0,79	0,79	0,79	m
B'	Charakteristický rozměr podlahy	8,75	8,75	8,75	m
P	Exponovaný obvod podlahy	44,82	44,82	44,82	m
z	Hloubka povrchu podlahy pod úrovní terénu	2	2	2	m
w	Tloušťka vnější stěny	0,37	0,37	0,37	m
R_{sit}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně podlahy	0,17	0,17	0,17	m ² K/W
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně	0,04	0,04	0,04	m ² K/W
R_f	Tepelný odpor podlahy na zemině	0	0	0	m ² K/W
Konstrukce v kontaktu se zemínou					
$\rho * c$	objemová tepelná kapacita	2 000 000	2 000 000	2 000 000	J/m ³ K
δ	Periodická hloubka průniku	3,17	3,17	3,17	m
H_g	Ustálený měrný tepelný tok	172,28	172,28	172,28	W/K
H_{pe}	Vnější periodický měrný tepelný tok	53,43	53,43	53,43	W/K
H_{pi}	Vnitřní periodický měrný tepelný tok	104,57	104,57	104,57	W/K

OZN	POPIS	HODNOTA VARIANTY			JEDNOTKY
		A	B	C	
Hledaná teplota					
ϑ_{i1}	Teplota vzduchu v suterénu leden	17,11	11,17	6,81	°C
ϑ_{i2}	Teplota vzduchu v suterénu únor	17,54	11,82	7,55	°C
ϑ_{i3}	Teplota vzduchu v suterénu březen	18,53	13,33	9,24	°C
ϑ_{i4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	19,73	15,17	11,30	°C
ϑ_{i5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	14,18	12,97	13,54	°C
ϑ_{i6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,26	14,48	15,05	°C
ϑ_{i7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	15,78	15,21	15,78	°C
ϑ_{i8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,58	14,94	15,51	°C
ϑ_{i9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,38	13,25	13,82	°C
ϑ_{i10}	Teplota vzduchu v suterénu říjen	19,89	15,42	11,57	°C
ϑ_{i11}	Teplota vzduchu v suterénu listopad	18,53	13,34	9,24	°C
ϑ_{i12}	Teplota vzduchu v suterénu prosinec	17,62	11,95	7,68	°C

Neotopné letní období bez vnitřních zisků



2. Tepelné toky

Tepelné toky Φ [W]		
OZN	POPIS	Vzorec
Φ_i	Stropní konstrukcí z interiéru	$U_{str} * A_{str} * (\vartheta_i - \vartheta_u)$
Φ_t	Topné potrubí	$H_1 * (\vartheta_{t1} - \vartheta_u) + H_2 * (\vartheta_{t2} - \vartheta_u)$
Φ_{st}	Obvodové stěny	$U_{st} * A_{st} * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_{ok}	Okna	$U_{ok} * A_{ok} * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_v	Větrání	$n * \rho * V * c * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_{pz}	Podlaha v kontaktu se zeminou	$U_{bf} * A_{str} * (\vartheta_u - \vartheta_e)$
Φ_{sz}	Stěna v kontaktu se zeminou	$U_{bw} * Z * P * (\vartheta_u - \vartheta_e)$

Tepelné toky Φ [W]					
OZN	POPIS	A	B	C	D
Φ_i	Stropní konstrukcí z interiéru	1797,16	1478,02	1850,27	384,42
Φ_t	Topné potrubí	3123,97	1464,17	0,00	2522,92
Φ_{st}	Obvodové stěny	-565,55	-338,13	-212,64	-334,12
Φ_{ok}	Okna	-258,23	-154,39	-97,09	-152,56
Φ_v	Větrání	-369,45	-220,88	-138,91	-218,27
Φ_{pz}	Podlaha v kontaktu se zeminou	-1008,76	-603,10	-379,28	-595,96
Φ_{sz}	Stěna v kontaktu se zeminou	-2719,15	-1625,70	-1022,36	-1606,44

Varianta	Kladné toky [W]	Záporné toky [W]
A	4921,13	-4921,13
B	2942,20	-2942,20
C	1850,27	-1850,27
D	2907,34	-2907,34

1. Výsledky výpočtu

Teplota vzduchu v suterénu		A	B	C	D	
ϑ_u	hledaná teplota vzduchu	9,64	0,94	-3,86	17,78	°C

Příloha č. 3

1. Výpočty teplot vzduchu v suterénu po měsících

Ve variantách A, B, C, kde varianta A představuje původní stav konstrukce, varianta B představuje zateplenou stropní konstrukci suterénu a nově zateplené topné potrubí, varianta C představuje zateplenou stropní konstrukci bez tepelných toků od otopného potrubí.

Teploty dle ČSN

		A	B	C	
ϑ_{im1}	Teplota vzduchu v suterénu leden	17,11	11,17	6,81	°C
ϑ_{im2}	Teplota vzduchu v suterénu únor	17,54	11,82	7,55	°C
ϑ_{im3}	Teplota vzduchu v suterénu březen	18,53	13,33	9,24	°C
ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	19,73	15,17	11,30	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	14,18	12,97	13,54	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,26	14,48	15,05	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	15,78	15,21	15,78	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,58	14,94	15,51	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,38	13,25	13,82	°C
ϑ_{im10}	Teplota vzduchu v suterénu říjen	19,89	15,42	11,57	°C
ϑ_{im11}	Teplota vzduchu v suterénu listopad	18,53	13,34	9,24	°C
ϑ_{im12}	Teplota vzduchu v suterénu prosinec	17,62	11,95	7,68	°C

Teploty dle ČHMÚ

		A	B	C	
ϑ_{im1}	Teplota vzduchu v suterénu leden	17,31	11,47	7,15	°C
ϑ_{im2}	Teplota vzduchu v suterénu únor	17,58	11,88	7,61	°C
ϑ_{im3}	Teplota vzduchu v suterénu březen	18,62	13,47	9,39	°C
ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	19,92	15,47	11,64	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	14,49	13,40	13,97	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,40	14,68	15,25	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,05	15,60	16,17	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,89	15,13	15,94	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,42	13,31	13,88	°C
ϑ_{im10}	Teplota vzduchu v suterénu říjen	19,95	15,51	11,68	°C
ϑ_{im11}	Teplota vzduchu v suterénu listopad	18,54	13,35	9,26	°C
ϑ_{im12}	Teplota vzduchu v suterénu prosinec	17,60	11,92	7,65	°C

Legenda

Neotopná sezóna – nulové vnitřní tepelné zisky



2. Citlivostní analýza pro měsíce duben až září

Var. A1 – větrání

		A	B	C	
ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	18,06	13,73	10,58	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,98	12,98	13,42	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,43	14,89	15,33	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,14	15,81	16,26	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,88	15,47	15,91	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,25	13,33	13,77	°C

Var. A2 – okna

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,97	13,66	10,55	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,97	12,98	13,42	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,44	14,91	15,34	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,16	15,84	16,28	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,89	15,49	15,93	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,24	13,33	13,77	°C

Var. A3 – stěna

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,85	13,56	10,50	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,96	12,98	13,41	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,46	14,93	15,36	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,18	15,88	16,31	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,91	15,53	15,96	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,23	13,33	13,76	°C

Var. A4 – stropní konstrukce

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	19,73	15,17	11,30	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	14,18	12,97	13,54	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,26	14,48	15,05	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	15,78	15,21	15,78	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,58	14,94	15,51	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,38	13,25	13,82	°C

Var. K1 – větrání + okna

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,97	13,66	10,55	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,97	12,98	13,42	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,44	14,91	15,34	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,16	15,84	16,28	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,89	15,49	15,93	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,24	13,33	13,77	°C

Var. K2 – okna + stěna + strop

		A	B	C	
ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,85	13,56	10,50	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,96	12,98	13,41	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,46	14,93	15,36	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,18	15,88	16,31	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,91	15,53	15,96	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,23	13,33	13,76	°C

Var. K3 – větrání + stěna + strop

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,85	13,56	10,50	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,96	12,98	13,41	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,46	14,93	15,36	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,18	15,88	16,31	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,91	15,53	15,96	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,23	13,33	13,76	°C

Var. K4 – větrání + okna + strop

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,85	13,56	10,50	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,96	12,98	13,41	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,46	14,93	15,36	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,18	15,88	16,31	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,91	15,53	15,96	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,23	13,33	13,76	°C

Var. K5 – větrání + okna + stěna

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,85	13,56	10,50	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,96	12,98	13,41	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,46	14,93	15,36	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,18	15,88	16,31	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,91	15,53	15,96	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,23	13,33	13,76	°C

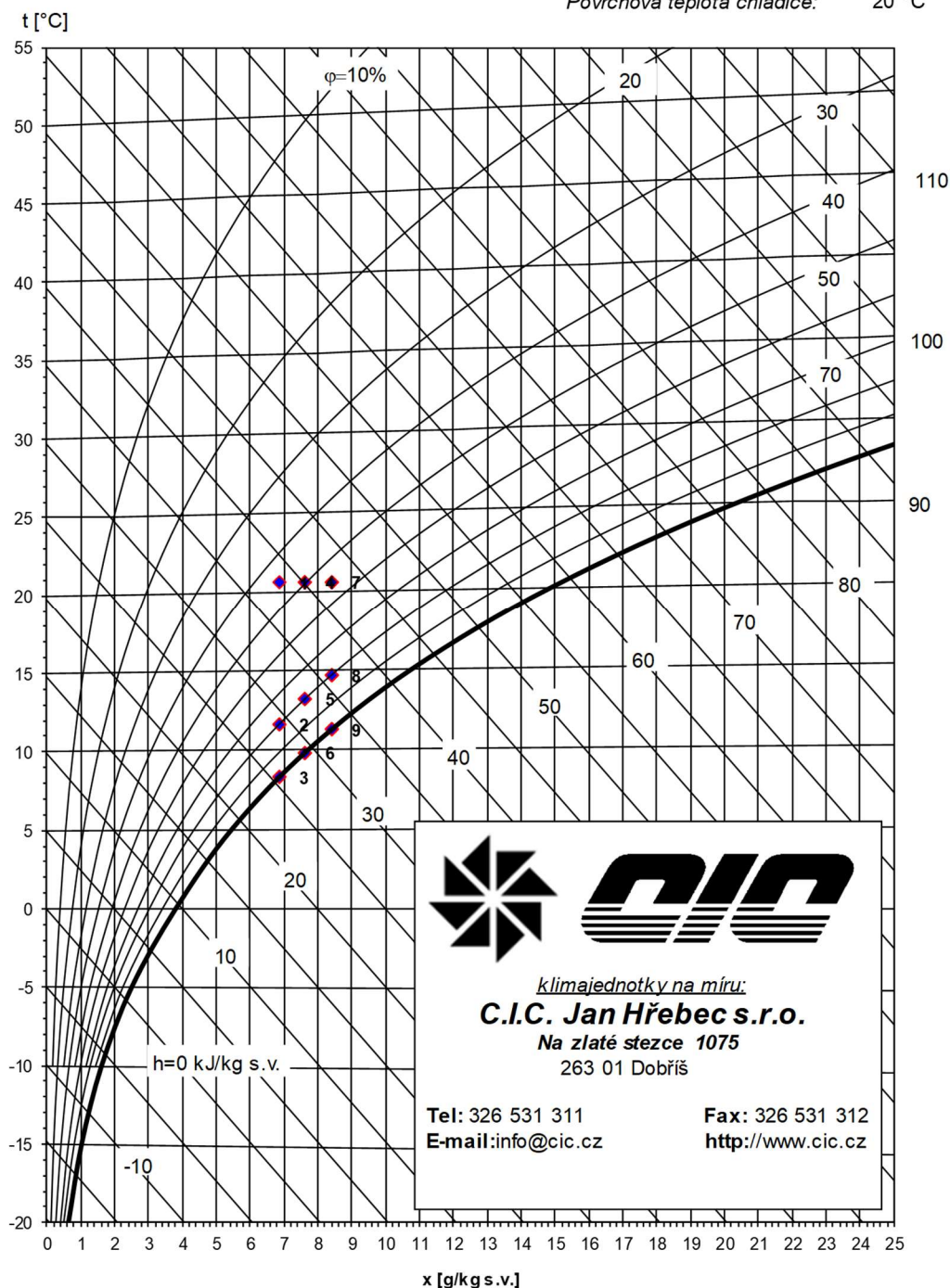
Var. K6 – vše

ϑ_{im4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	17,85	13,56	10,50	°C
ϑ_{im5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	13,96	12,98	13,41	°C
ϑ_{im6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,46	14,93	15,36	°C
ϑ_{im7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	16,18	15,88	16,31	°C
ϑ_{im8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,91	15,53	15,96	°C
ϑ_{im9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,23	13,33	13,76	°C

Příloha č. 4

Psychrometrický diagram dle Molliera

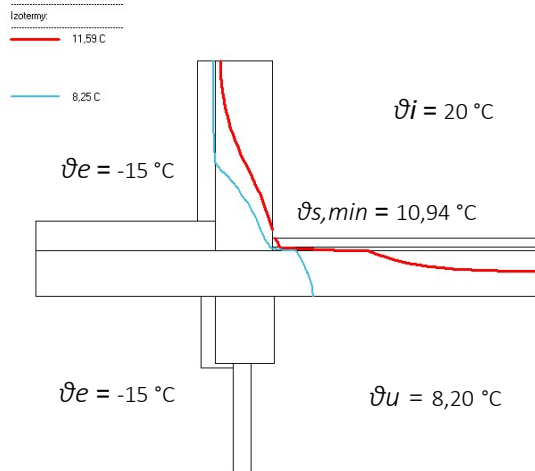
Tlak vzduchu: 100 kPa
 Max. vlhkost při úpravách: 100 %
 Povrchová teplota chladiče: 20 °C



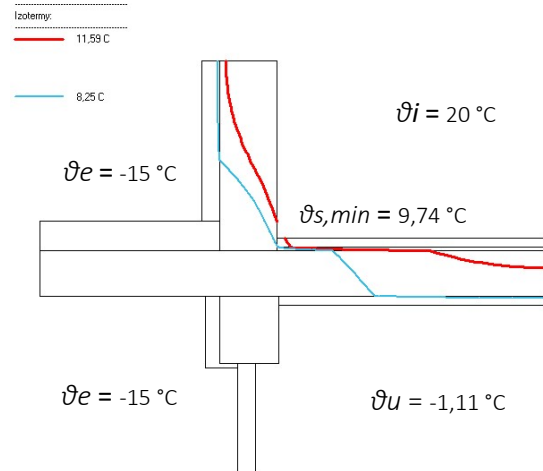
		Jednotky	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Teplota	t	°C	20,6	11,6	8,3	20,6	13,2	9,8	20,6	14,7	11,3
Relativní vlhkost	φ	%	45	80	100	50	80	100	55	80	100
Měrná vlhkost	x	g/kg s.v.	6,9	6,9	6,9	7,6	7,6	7,6	8,4	8,4	8,4
Entalpie	h	kJ/kg s.v.	38,2	29,0	25,6	40,2	32,6	29,2	42,2	36,1	32,6
Hustota	ρ	kg/m ³	1,18	1,22	1,23	1,18	1,21	1,23	1,18	1,20	1,22
Teplota vlhkého teploměru	t_v	°C	13,5	9,8	8,3	14,2	11,3	9,8	14,9	12,7	11,3

Příloha č. 5

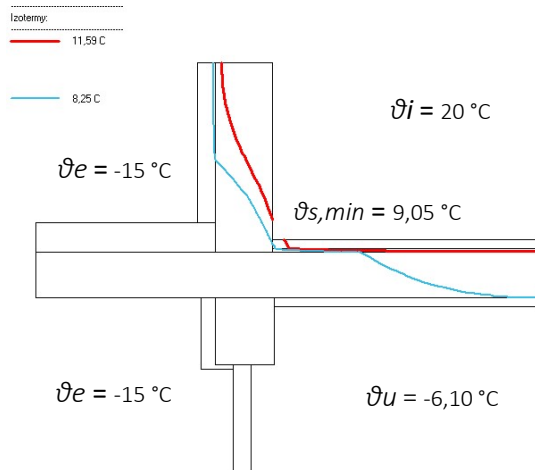
Var. I.A



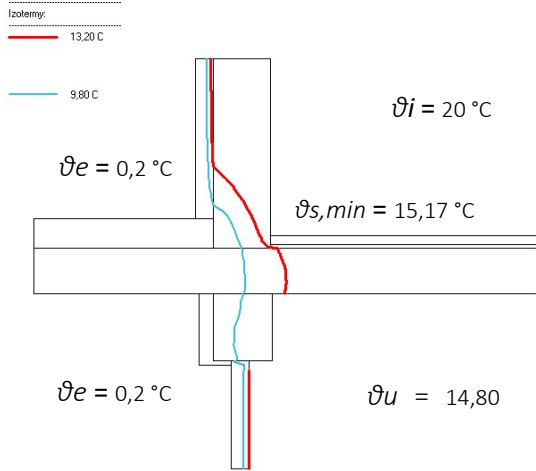
Var. I.B



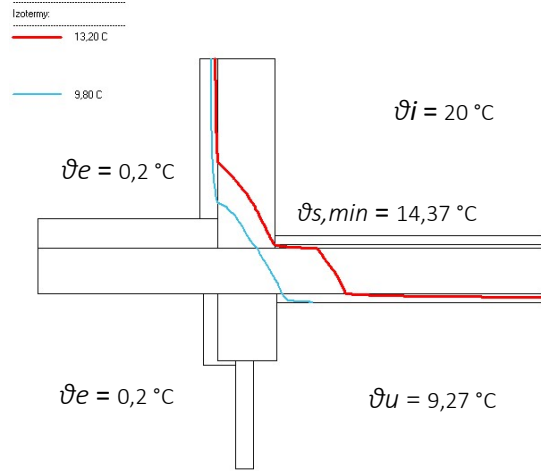
Var. I.C



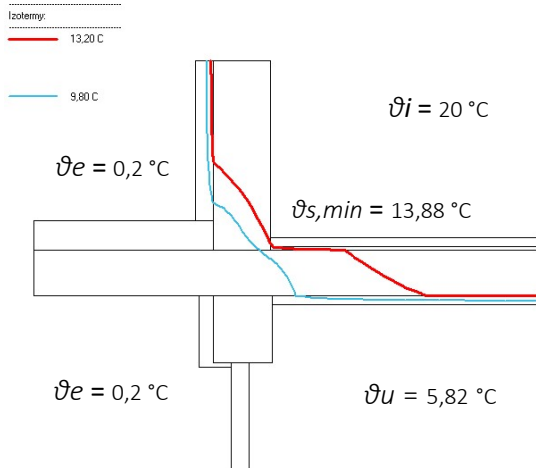
Var. II.-a.A



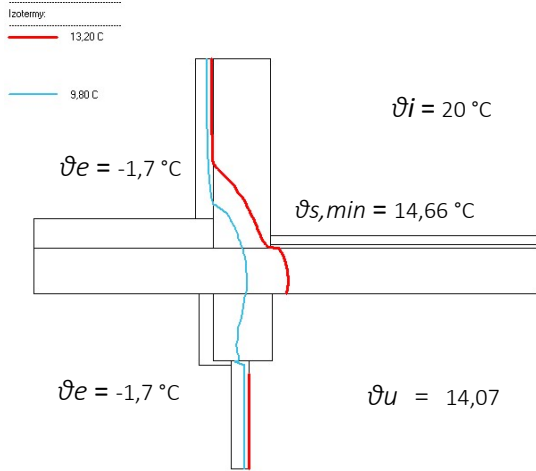
Var. II.-a.B



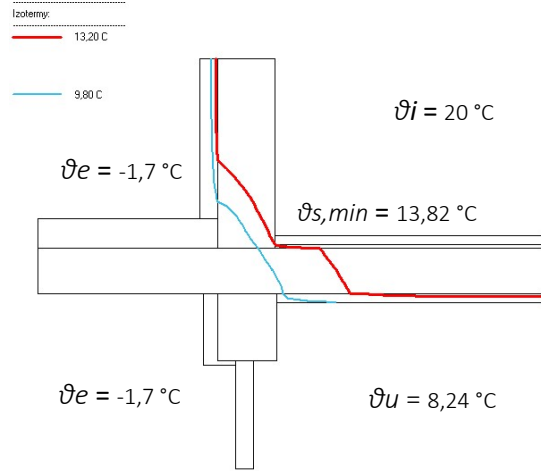
Var. II.-a.C



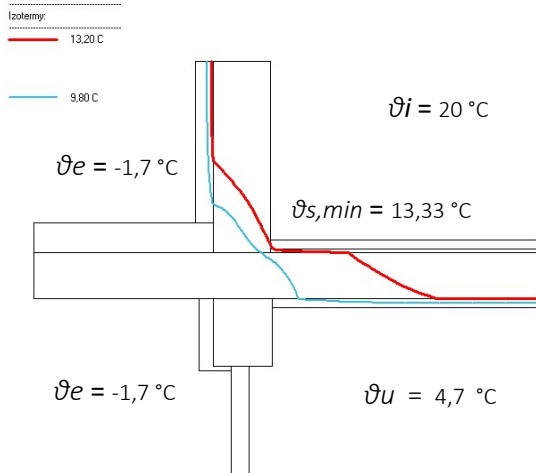
Var. II.-b.A



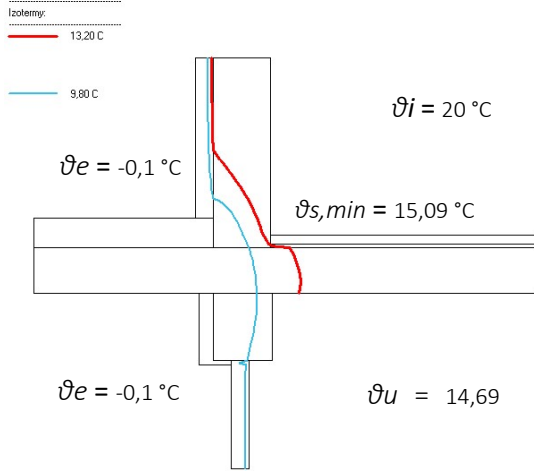
Var. II.-b.B



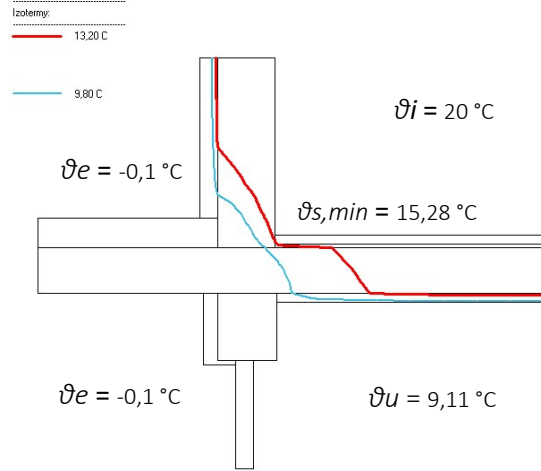
Var. II.-b.C



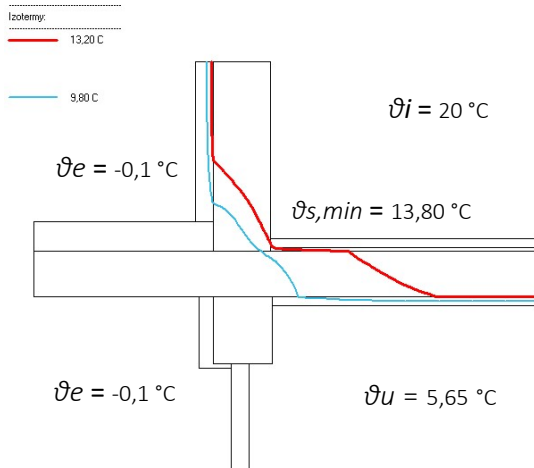
Var. II.-c.A



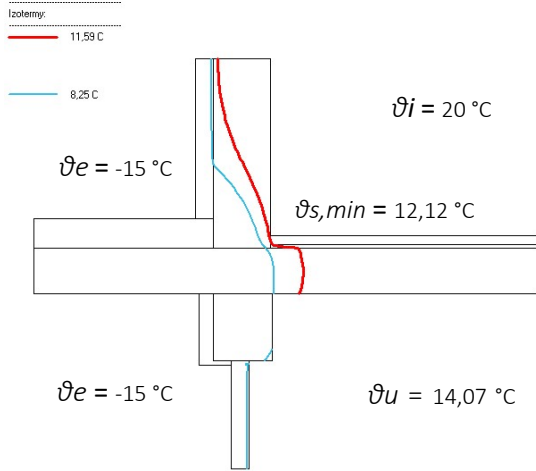
Var. II.-c.B



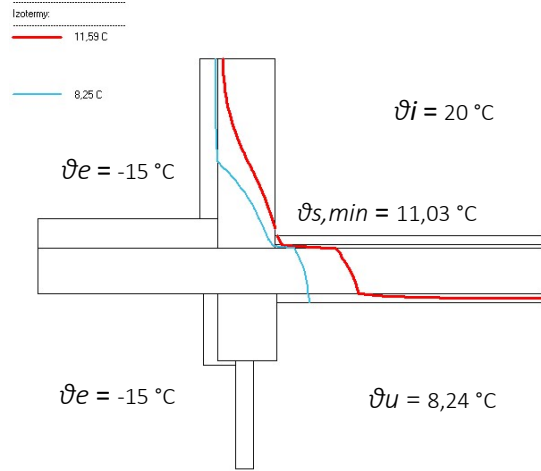
Var. II.-c.C



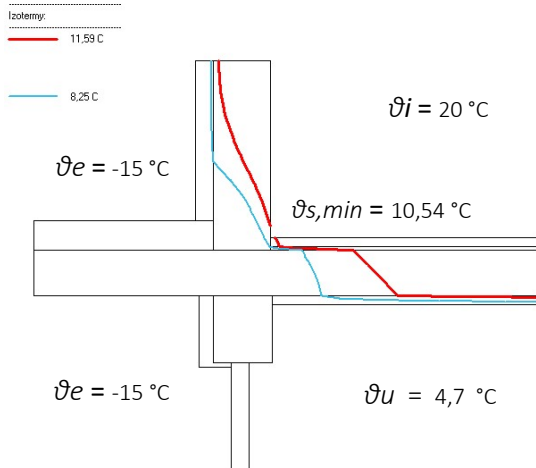
Var. III.A



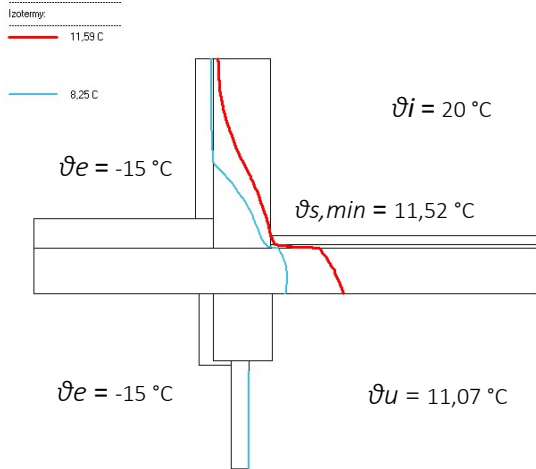
Var. III.B



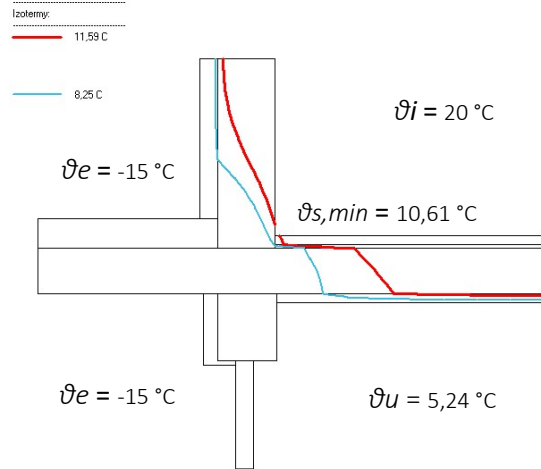
Var. III.C



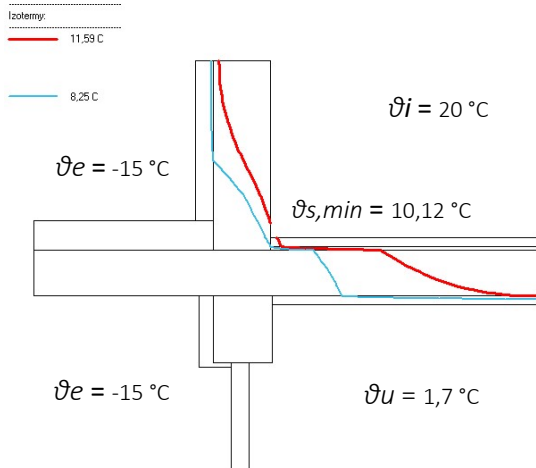
Var. VI.A



Var. VI.B

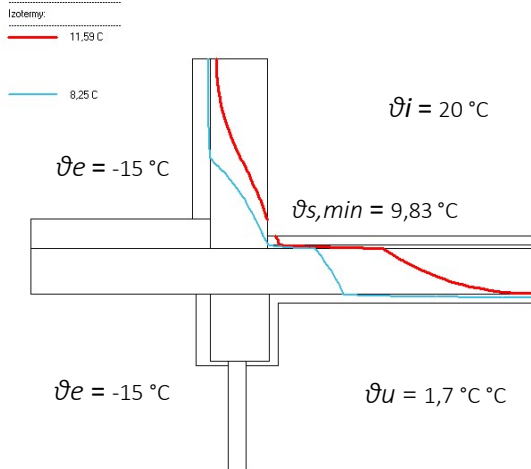


Var. VI.C

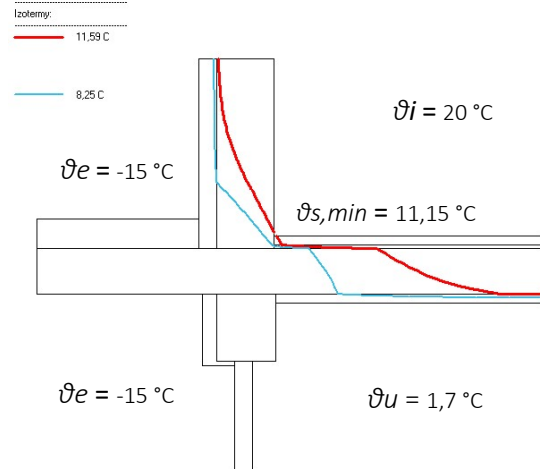


Příloha č. 6

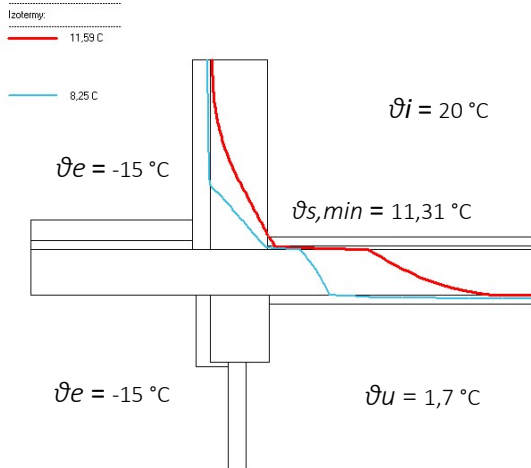
Var. A



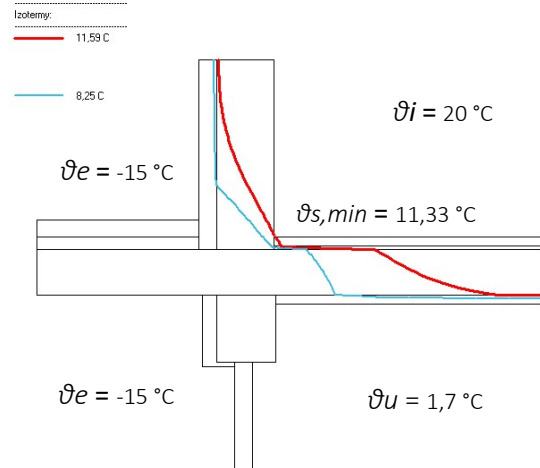
Var. B



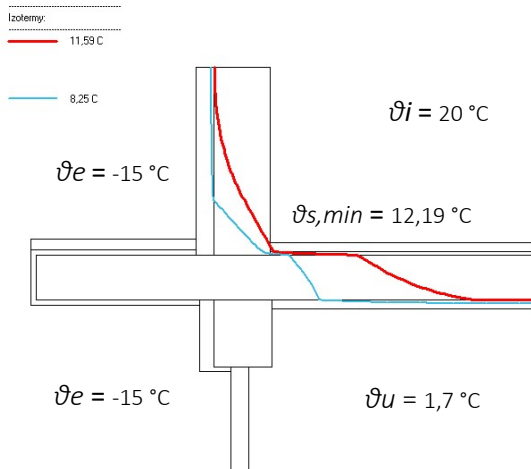
Var. C.1



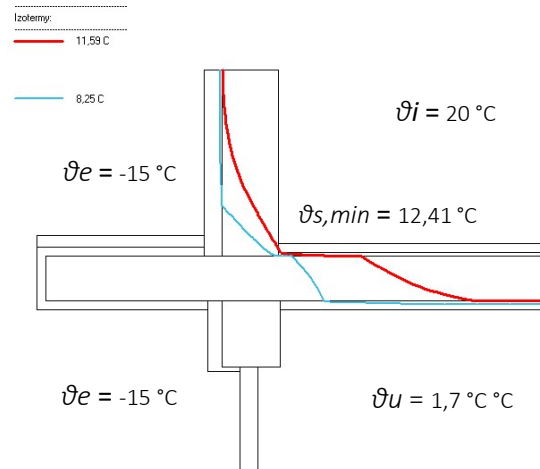
Var. C.2



Var. D.1

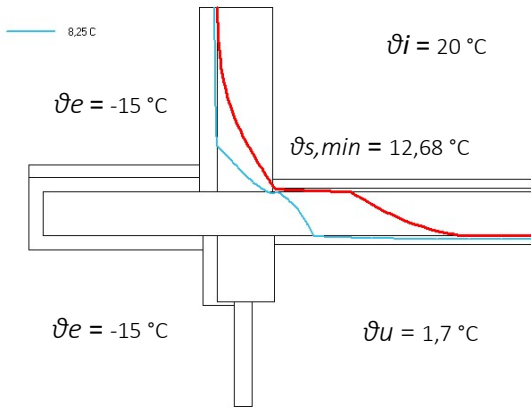


Var. D.2



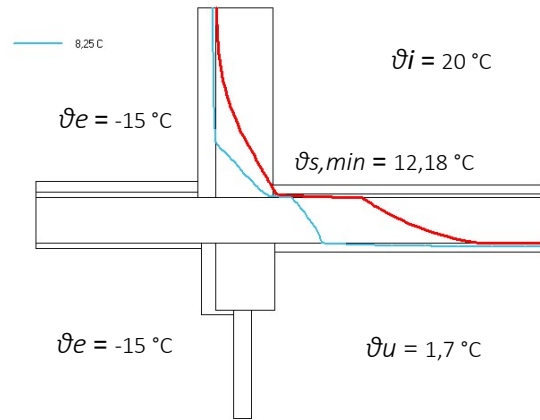
Var. D.3

Izotermij: 11,59 C



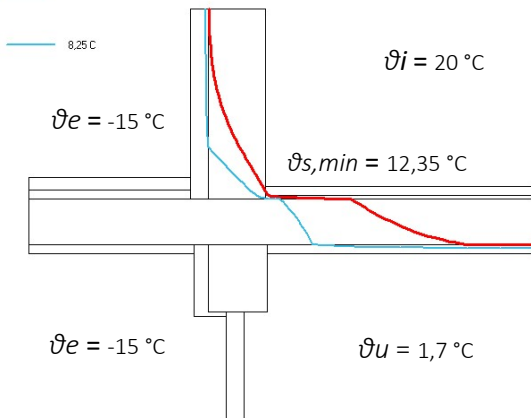
Var. E.1

Izotermij: 11,59 C



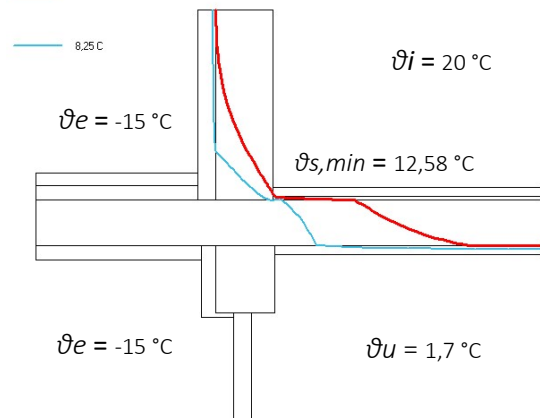
Var. E.2

Izotermij: 11,59 C



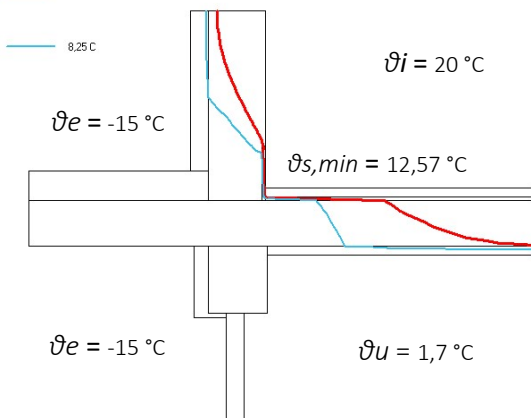
Var. E.3

Izotermij: 11,59 C



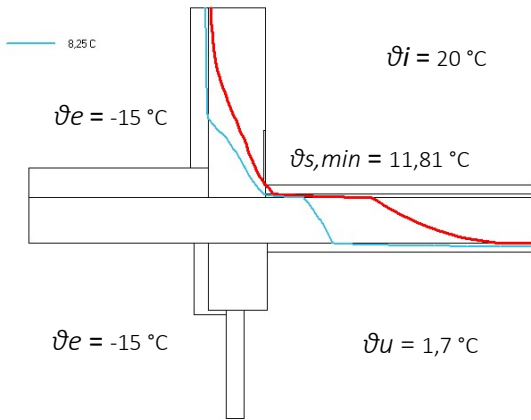
Var. F.1

Izotermij: 11,59 C



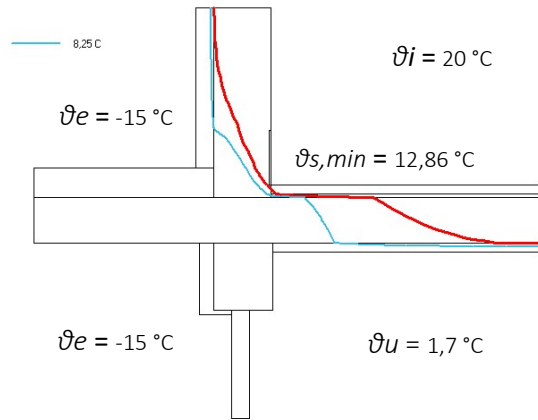
Var. G.1

Izotermij:
11,59 C



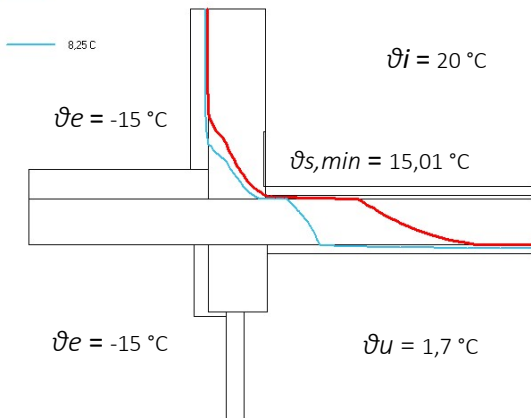
Var. G.2

Izotermij:
11,59 C



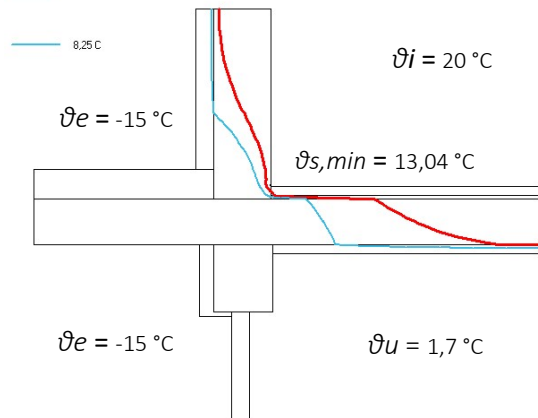
Var. G.3

Izotermij:
11,59 C



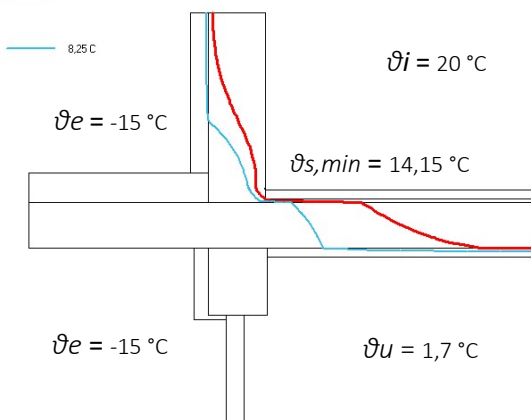
Var. G.4

Izotermij:
11,59 C



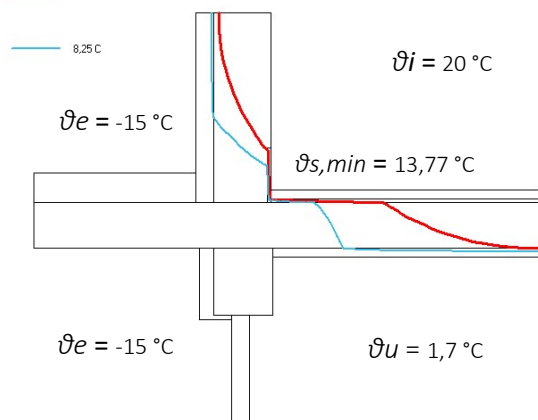
Var. G.5

Izotermij:
11,59 C



Var. H

Izotermij:
11,59 C



Příloha č. 7

1. Vstupní hodnoty

OZN	POPIS	HODNOTA VARIANTY	
		C - zateplený strop, zanedbané potrubí	JEDNOTKY
Teploty prostředí			
ϑ_i	Teplota interiéru	20	°C
ϑ_{t1}	Teplota média - potrubí přívodní	-	°C
ϑ_{t2}	Teplota média - potrubí zpětné	-	°C
ϑ_{e1}	Průměrná teplota exteriéru leden	-1,19	°C
ϑ_{e2}	Průměrná teplota exteriéru únor	0,73	°C
ϑ_{e3}	Průměrná teplota exteriéru březen	4,35	°C
ϑ_{e4}	Průměrná teplota exteriéru duben	8,28	°C
ϑ_{e5}	Průměrná teplota exteriéru květen	13,83	°C
ϑ_{e6}	Průměrná teplota exteriéru červen	16,36	°C
ϑ_{e7}	Průměrná teplota exteriéru červenec	17,73	°C
ϑ_{e8}	Průměrná teplota exteriéru srpen	17,56	°C
ϑ_{e9}	Průměrná teplota exteriéru září	13,79	°C
ϑ_{e10}	Průměrná teplota exteriéru říjen	9,31	°C
ϑ_{e11}	Průměrná teplota exteriéru listopad	3,64	°C
ϑ_{e12}	Průměrná teplota exteriéru prosinec	0,79	°C
$\bar{\vartheta}_i$	Průměrná roční teplota vnitřního vzduchu	11,00	°C
$\bar{\vartheta}_e$	Průměrná roční teplota venkovního vzduchu	8,76	°C
Stropní konstrukce			
d_{podl}	Tloušťka tepelné (kročejeové) izolace podlahy	0,02	m
λ_{podl}	Součinitel tepelné vodivosti izolace podlahy	0,05	W/mK
d_{str}	Tloušťka stropního panelu	0,3	m
λ_{str}	Součinitel tepelné vodivosti panelu	1,2	W/mK
d_{str_ti}	Tloušťka stropní izolace	0,05	m
λ_{str_ti}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,047	W/mK
R_{str}	Tepelný odpor stropu	1,71	m ² K/W
U_{str}	Součinitel prostupu tepla stropu	0,52	W/m ² K
A_{str}	Plocha stropní konstrukce	149,16	m ²
Potrubí			
H_1	Měrná tepelná ztráta - potrubí přívodní	-	W/K
H_2	Měrná tepelná ztráta - potrubí zpětné	-	W/K

OZN	POPIS	HODNOTA VARIANTY	JEDNOTKY
		C - zateplený strop, zanedbané potrubí	
Stěna			
d_{st_ti}	Tloušťka izolace na stěně	0,08	m
λ_{st_ti}	Součinitel tepelné vodivosti izolace	0,04	W/mK
d_{st}	Tloušťka stěnové konstrukce	0,3	m
λ_{st}	Součinitel tepelné vodivosti betonu	1,3	W/mK
R_{st}	Tepelný odpor stěny	2,23	m ² K/W
U_{st}	Součinitel prostupu tepla stěny	0,42	W/m ² K
P	Exponovaný obvod podlahy	44,82	m
v_{st}	Výška stěny	1,40	m
A_{st}	Plocha stěny	62,75	m ²
Okna			
U_{ok}	Součinitel prostupu tepla okna	1,7	W/m ² K
A_{ok}	Plocha oken	7,02	m ²
Větrání			
ρ	Objemová hmotnost vzduchu	1,2	kg/m ³
V	Objem vzduchu suterénu	507,14	m ³
c	Měrná tepelná kapacita vzduchu	1 010,00	J/kgK
n	Násobnost výměny vzduchu	0,1	h ⁻¹
Stěny v kontaktu se zeminou			
U_{bf}	Součinitel prostupu tepla podlahy suterénu	0,31	W/m ² K
λ	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	2	W/mK
d_w	Celková ekvivalentní tloušťka – stěny suterénu	0,34	m
R_{siw}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně stěny	0,13	m ² K/W
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně	0,04	m ² K/W
R_w	Tepelný odpor stěny v kontaktu se zeminou	0	m ² K/W
Podlaha v kontaktu se zeminou			
U_{bw}	Součinitel prostupu tepla stěn suterénu v kontaktu se zeminou	1,40	W/m ² K
λ	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	2	W/mK
d_t	Celková ekvivalentní tloušťka – podlahy na terénu	0,79	m
B'	Charakteristický rozměr podlahy	8,75	m
P	Exponovaný obvod podlahy	44,82	m
z	Hloubka povrchu podlahy pod úrovní terénu	2	m
w	Tloušťka vnější stěny	0,37	m
R_{sit}	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně podlahy	0,17	m ² K/W
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na vnější straně	0,04	m ² K/W
R_f	Tepelný odpor podlahy na zemině	0	m ² K/W
Konstrukce v kontaktu se zeminou			
$\rho*c$	objemová tepelná kapacita	2 000 000	J/m ³ K
δ	Periodická hloubka průniku	3,17	m
H_g	Ustálený měrný tepelný tok	172,28	W/K
H_{pe}	Vnější periodický měrný tepelný tok	53,43	W/K
H_{pi}	Vnitřní periodický měrný tepelný tok	104,57	W/K

OZN	POPIS	HODNOTA VARIANTY	
		C - zateplený strop, zanedbané potrubí	JEDNOTKY
Hledaná teplota			
ϑ_{i1}	Teplota vzduchu v suterénu leden	7,24	°C
ϑ_{i2}	Teplota vzduchu v suterénu únor	8,12	°C
ϑ_{i3}	Teplota vzduchu v suterénu březen	9,78	°C
ϑ_{i4}	Teplota vzduchu v suterénu duben	11,58	°C
ϑ_{i5}	Teplota vzduchu v suterénu květen	14,12	°C
ϑ_{i6}	Teplota vzduchu v suterénu červen	15,27	°C
ϑ_{i7}	Teplota vzduchu v suterénu červenec	15,90	°C
ϑ_{i8}	Teplota vzduchu v suterénu srpen	15,83	°C
ϑ_{i9}	Teplota vzduchu v suterénu září	14,10	°C
ϑ_{i10}	Teplota vzduchu v suterénu říjen	12,05	°C
ϑ_{i11}	Teplota vzduchu v suterénu listopad	9,45	°C
ϑ_{i12}	Teplota vzduchu v suterénu prosinec	8,15	°C

2. Výpočet počátečních hodnot sinusoidy

měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
stupně	270	300	330	360	30	60	90	120	150	180	210	240
radiány	4,71	5,24	5,76	6,28	0,52	1,05	1,57	2,09	2,62	3,14	3,67	4,19
sinusoida	7,45	8,03	9,63	11,80	13,98	15,57	16,15	15,57	13,98	11,80	9,63	8,03
rozdíl	0,21	-0,09	-0,15	0,23	-0,14	0,29	0,25	-0,26	-0,12	-0,25	0,17	-0,12
											Σ	0,02

$(\text{SIN}(\alpha)) * A + P$	
A=	4,35
P=	11,8

