

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav energetiky



Bakalářská práce

Zateplení rodinného domu - technicko-ekonomická analýza  
různých izolačních materiálů v závislosti na tloušťce izolační  
vrstvy

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bumerl** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **437726**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Zateplení rodinného domu - technicko-ekonomická analýza různých izolačních materiálů v závislosti na tloušťce izolační vrstvy**

Název bakalářské práce anglicky:

**Thermal insulation of the family house facade - technical and economical analysis of the various insulation materials/various thickness of the insulation layer**

Pokyny pro vypracování:

Proveďte technicko ekonomickou analýzu několika základních izolačních (pěnový polystyrén, minerální vlna, polyuretan) materiálů pro kontaktní zateplení obvodových stěn rodinného domu. Základem ekonomické analýzy bude vliv tloušťky tepelné izolace na dobu návratnosti vložené investice (prostá a diskontovaná doba návratnosti) pro základní typy izolačních materiálů. Základem technické analýzy bude porovnání tepelné izolačních a difúzních vlastností základních tepelně izolačních materiálů.

Seznam doporučené literatury:

Tepelné izolace v tepelné technice, Prokop J., ČVUT 1982

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Martin Neužil, Ph.D., ústav energetiky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **16.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2019**

Ing. Martin Neužil, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Praze dne .....

# Anotační list

<b>Jméno autora</b>	Vojtěch Bumerl
<b>Název BP/DP</b>	Zateplení rodinného domu - technicko-ekonomická analýza různých izolačních materiálů v závislosti na tloušťce izolační vrstvy
<b>Anglický název:</b>	Thermal insulation of the family house fasade – technical and economical analysis of the various insulation materials/various thicness of the insulation layer
<b>Akademický rok:</b>	2017 / 2018
<b>Ústav/Odbor:</b>	Ústav energetiky / Energetika a procesní technika
<b>Vedoucí BP/DP:</b>	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran: 64 Počet obr.: 18 Počet tabulek: 18 Počet příloh: 8
<b>Klíčová slova:</b>	Zateplení, tepelná izolace, prostup tepla, tepelná ztráta, difuze vlhkosti, parciální tlak vodní páry, parciální tlak vodní páry na mezi sytosti, optimalizace, vrstva, stěna, doba návratnosti, cena
<b>Keyword:</b>	Thermal insulation, thermal insulation, insulation, heat treatment, diffusion of humidity, the partial pressure of water vapor, the partial pressure of water vapor on the saturation, heat loss, optimisation, layer, wall, payback time, price

**Anotace:**

Cílem této práce je určení úspory tepla potřebného k vytápění rodinného domu po provedení zateplení obvodových stěn. Zjištění doby návratnosti této varianty a její výhodnost.

Dalším bodem je technicko-ekonomická analýza různých izolačních materiálů v závislosti na tloušťce izolační vrstvy, tedy stanovení nejvýhodnější tloušťky tepelné izolace vzhledem k ceně izolace a tepla potřebného k dosažení tepelné pohody.

**Abstract:**

The aim of this work is to determine the heat savings needed to heat the house after thermal insulation of the perimeter walls. Determining the payback time of this option and its convenience.

Another point is the technical and economical analysis of different insulating materials depending on the thickness of the insulation layer, ergo the determination of the most advantageous thickness of thermal insulation relative to the insulation and heat cost needed to achieve thermal comfort.

# Poděkování

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Martinovi Nežilovi, Ph.D., za pomoc při jejím zpracování, odborné vedení a cenné rady.

# Obsah

Obsah.....	7
Seznam obrázků .....	9
Seznam symbolů, indexů a zkratk .....	10
1 Úvod.....	13
1.1 Proč zateplovat.....	13
1.2 Cíl práce.....	14
2 Popis rodinného domu .....	15
2.1 Okrajové podmínky .....	16
3 Základní pojmy a fyzikální veličiny.....	17
3.1 Tepelně izolační vlastnosti .....	17
3.1.1 Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ .....	17
3.1.2 Tepelný odpor konstrukce R a součinitel prostupu tepla U.....	18
4 Výpočet prostupu tepla obvodových stěn .....	19
4.1 Složení obvodových stěn a jejich technické parametry .....	20
4.2 Součinitel prostupu tepla .....	22
5 Tepelné ztráty.....	23
6 Difuze vlhkosti .....	27
6.1 Průběh teplot ve stěně.....	29
6.2 Faktor difuzního odporu $\mu$ .....	31
6.3 Průběh parciálních tlaků .....	32
6.4 Výpočet parciálních tlaků.....	33
6.5 Porovnání získaných hodnot .....	34
6.6 Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry .....	37
7 Denostupňová metoda a spotřeba tepla .....	38

8	Finanční zhodnocení.....	41
8.1	Finanční náročnost.....	41
8.2	Prostá doba návratnosti.....	42
8.3	Diskontovaná doba návratnosti.....	43
9	Technicko-ekonomická analýza optimalizace tloušťky izolace .....	45
9.1	Tepelná ztráta prostupem tepla .....	45
9.2	Potřeba tepla pro vytápění $Q_{vyt}$ .....	46
9.3	Izolační materiály .....	46
9.3.1	Expandovaný polystyren (EPS) .....	46
9.3.2	Expandovaný polystyren s grafitem (EPSC).....	47
9.3.3	Extrudovaný polystyren.....	47
9.3.4	Vata minerální .....	48
9.3.5	Vata skelná .....	48
9.3.6	Polyuretanová izolace.....	49
9.4	Optimalizovaná tloušťka izolace .....	49
9.5	Vyhodnocení optimalizace .....	53
10	Vlastní přínos zateplení RD.....	55
11	Závěr .....	56
12	Seznam použité literatury .....	57
13	Přílohy.....	60



# Seznam obrázků

Obrázek 1 Pohled na měřený RD .....	15
Obrázek 2 Schéma složení stěny s průběhem teplot před zateplením .....	21
Obrázek 3 Schéma složení stěny s průběhem teplot po zateplení.....	21
Obrázek 4 Snímek termokamery - pohled z ulice (povrchová teplota okna) .....	24
Obrázek 5 Snímek termokamery - pohled z ulice (povrchová teplota stěny) .....	24
Obrázek 6 Snímek termokamery - nezateplený x zateplený objekt.....	25
Obrázek 7 snímek termokamery - okno .....	25
Obrázek 8 Snímek termokamery - detail rámu okna.....	26
Obrázek 9 Snímek termokamery - pohled ze zahrady.....	26
Obrázek 10 Schéma složení stěn s průběhem teploty a parciálních tlaků vodní páry ...	28
Obrázek 11 Graf průběhu teplot třívrstvé stěny .....	30
Obrázek 12 Graf průběhu teplot zateplené sedmivrstvé stěny .....	31
Obrázek 13 Graf vypočtených hodnot průběhu parciálních tlaků – stěna nezateplená	34
Obrázek 14 Graf získaných hodnot průběhu parciálních tlaků z programu TEPLO2017 EDU – stěna nezateplená .....	35
Obrázek 15 Graf vypočtených hodnot průběhu parciálních tlaků – stěna zateplená ....	36
Obrázek 16 Graf získaných hodnot průběhu parciálních tlaků z programu TEPLO2017 EDU – stěna zateplená .....	36
Obrázek 17 Graf technicko-ekonomické optimalizace tloušťky tepelné izolace (CP 450 mm).....	51
Obrázek 18 Graf technicko-ekonomické optimalizace tloušťky tepelné izolace (CP 300 mm).....	53

## Seznam symbolů, indexů a zkratk

Symbol	Jednotka	Význam
$\lambda$	(W/m·K)	součinitel tepelné vodivosti
d	(m)	tloušťka vrstvy, charakteristický rozměr
R	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tepelný odpor konstrukce
R <sub>1</sub>	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tepelný odpor první vrstvy
R <sub>n</sub>	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tepelný odpor n-té vrstvy
R <sub>T</sub>	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tep. odpor konstrukce při prostupu tepla
R <sub>i</sub>	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
R <sub>e</sub>	(m <sup>2</sup> ·K/W)	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
U	(W/m <sup>2</sup> ·K)	součinitel prostupu tepla
$\rho$	(kg/m <sup>3</sup> )	hustota materiálu
Q <sub>p</sub>	(W)	tepelná ztráta prostupem
Q <sub>v</sub>	(W)	tepelná ztráta větráním
Q <sub>c</sub>	(W)	celková tepelná ztráta místnosti
p <sub>d</sub> , p <sub>D</sub>	(Pa)	parciální tlak vodní páry
p <sub>d</sub> " , p <sub>D</sub> "	(Pa)	parciální tlak vodní páry při nasycení
Q <sub>T</sub>	(W)	tepelný tok stěnou
t <sub>in</sub>	(°C)	vnitřní návrhová teplota
t <sub>ext</sub>	(°C)	vnější návrhová teplota
t <sub>1</sub>	(°C)	povrchová teplota stěny na vnitřní straně

$\alpha_1$	(W/m <sup>2</sup> ·K)	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
T	(°C)	teplota
$\mu$	(1)	faktor difuzního odporu
$\dot{m}_D$	(kg/m <sup>2</sup> )	jednotkové množství par, které projde rovinnou stěnou
$\Delta p$	(Pa)	rozdíl parciálních tlaků celé stěny
$\Delta p_1$	(Pa)	rozdíl parciálních tlaků první vrstvy
$\Delta x$	(m)	celková tloušťka stěny
$\Delta x_1$	(m)	tloušťka první vrstvy
$M_c$	(kg/m <sup>2</sup> )	množství zkondenzované vodní páry
$M_{ev}$	(kg/m <sup>2</sup> )	množství vypařitelné zkondenzované vodní páry
$D^\circ(t_{is})$	(1)	počet vytápěcích denostupňů vztažených k interiérové teplotě za měsíc
$d_T$	(dny)	počet topných dnů
$t_{is}$	(°C)	průměrná vnitřní teplota objektu
$t_{es}$	(°C)	průměrná venkovní teplota za otopné období
$\Theta_{em}$	(°C)	průměrná venkovní teplota v jednotlivých měsících
$Q_r$	(J)	teoretická potřeba tepla na vytápění
$\varepsilon$	(1)	opravný součinitel
IN	(Kč)	celková investice
IN <sub>d</sub>	(Kč)	investice s vlivem dotace

CF	(Kč)	roční úspora, cash flow
TN <sub>p</sub>	(rok)	prostá doba návratnosti
TN <sub>ds</sub>	(rok)	diskontovaná doba návratnosti
DCF	(Kč/rok)	roční diskontovaný peněžní tok
r	(%)	diskont
t	(rok)	rok, ke kterému se DCF počítá
Q <sub>0</sub>	(W)	součet zrát prostupem tepla přes všechny vrstvy
U <sub>j</sub>	(W/m <sup>2</sup> ·K)	součinitel prostupu tepla pro určitou vrstvu stěny
S <sub>j</sub>	(m <sup>2</sup> )	plocha obálky objektu
Q <sub>VYT,r</sub>	(MWh/rok)	teplo potřebné k vytápění
η <sub>o</sub>	(1)	účinnost možnosti regulace topné soustavy
η <sub>r</sub>	(1)	účinnost rozvodu vytápění
C	(Kč/m <sup>2</sup> )	ekonomicky ideální tloušťka izolace
C <sub>e</sub>	(Kč)	jednotková cena za topné médium
C <sub>iz</sub>	(Kč/m <sup>2</sup> )	cena izolace za m <sup>2</sup>

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou zateplení rodinného domu nejen z technického hlediska, ale následně i zhodnocením ekonomické stránky. Postupně popisuje několik stěžejních bodů, které je nutné vyhodnotit a na základě získaných hodnot se snažíme najít optimální řešení. Těmito hlavními body práce jsou nejprve technické výpočty, kterými získáme prostupy tepla, následně tepelné ztráty a úsporu tepla, dále difuze vlhkosti, tedy případnou kondenzaci vodní páry ve stěně, celková finanční náročnost a návratnost, a nakonec výpočet optimální tloušťky tepelné izolace v závislosti na její ceně a ceně tepla potřebného k dosažení vnitřních návrhových podmínek, při realizaci této tepelné izolace.

## 1.1 Proč zateplovat

Aplikace tepelné izolace má více důvodů, nejen snížení energetické náročnosti k dosažení tepelné pohody ve vnitřních prostorech, což jistě mnoho lidí napadne. To často nelze považovat za hlavní důvod. Hlavním důvodem by mělo být zvýšení povrchové teploty na vnitřní straně obvodových stěn budovy za pomoci tepelné izolace. Odstraní se tak riziko vzniku plísní na viditelných, ale i skrytých místech. Tyto problémy způsobuje kondenzace vodní páry, které se lze vhodnou tepelnou izolací částečně či úplně zbavit. V tomto ohledu jsou zvláště problematické dřevěné konstrukce (stropy, podlahy, dřevostavby), kde hrozí hniloba nebo dřevomorka, různá vlhkost ve stěně dřevostavbám škodí (vlivem rozdílné vlhkosti může docházet k různé rozpínavosti materiálu). Další části vyžadující zvýšenou pozornost, jsou na místech s velkým rozdílem teplot v letním a zimním období (povrch konstrukce může mít v létě až 50 °C a v zimě až pod -20 °C). Zateplením se teplota na vnitřní straně stěny může ustálit okolo +20°C. Dilatační místa (panelové či železobetonové) přestanou díky tomuto ustálení teploty a zamezení kondenzování vlhkosti ve stěně praskat a trhliny se rozšiřovat. Cihlové stavby mají dilatační pohyby vlivem kolísání teplot zanedbatelné, protože tam jde spíše o pohyb jednotlivých cihel (mohou se navzájem kompenzovat). V neposlední řadě dojde touto rekonstrukcí ke zpevnění obvodových stěn a dům je po zateplení chráněn před nepříznivými vlivy počasí [2].

Výše zmíněná úspora tepla, a tedy i ekonomická výhodnost takového zateplení je ovlivněna náklady na vytápění a náklady za tepelnou izolaci a její instalaci. Pro někoho může být snížení nákladů na vytápění díky provedenému zateplení vhodným řešením pro budoucí nejistou finanční situaci domácnosti, kdy by mohl mít nižší příjmy. S tím souvisí i volba pohodlnějšího způsobu vytápění. Nejprve se ale musíme seznámit s původním nezatepleným stavem a okrajovými podmínkami dané lokality a dále se základními pojmy a užívanými fyzikálními veličinami této problematiky [2, 18].

## 1.2 Cíl práce

Cílem této práce je porovnání vypočtených hodnot tepelných ztrát, potřeby tepla a průběhů parciálních tlaků při řešení difúze vlhkosti u našeho řešeného objektu před a po provedení zateplení jedním druhem tepelné izolace (EPSC), následné shrnutí a vyhodnocení výhodnosti realizace zateplení.

Druhým bodem je provedení technicko-ekonomické analýzy různých izolačních materiálů v závislosti na tloušťce izolační vrstvy a výběr optimální varianty tepelné izolace, pomocí vyhotoveného programu, ve kterém se zohledňuje cena tepelné izolace a cena potřebného tepla pro dosažení vnitřních návrhových teplot. Výsledkem programu bude stanovení optimálního druhu a tloušťky tepelné izolace.

## 2 Popis rodinného domu

Rodinný dům, na který je tato práce zaměřena, se nachází v Jihočeském kraji ve městě Veselí nad Lužnicí. Je určen pro jednu rodinu. Jedná se o řadový dům, s jednou společnou stěnou se sousedním objektem, který nepřevyšuje okolní zástavbu, díky které je chráněn od nepříznivých vlivů počasí. Tento nezateplený rodinný dům je situovaný jako 4 + 1 se dvěma nadzemními podlažími (dále jen NP) a je částečně podsklepen.



*Obrázek 1 Pohled na měřený RD [autor]*

Rozložení pokojů je následující, v 1.NP se nachází obývací pokoj, kuchyně a koupelna, v 2.NP pak najdeme tři samostatné neprůchozí pokoje, chodba spojuje hlavní vchod s místnostmi v 1.NP a pokoji v 2.NP. Dům má třívrstvé obvodové zdi, v 1.NP jsou z plných cihel 450 mm a celková tloušťka stěny je 500 mm, ve 2.NP jsou z plných cihel 300 mm a celková tloušťka stěny je 330 mm. Vnitřní omítka je vápenná a vnější vápenocementová. Původní okna a dveře byly dřevěné s dvojitou výplní. V objektu byly osazeny vchodové dřevěné dveře. Plynový kotel značky Junkers slouží k vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. Větrání je přirozené. Rodinný dům má v současné době

zatepleny obvodové zdi fasádním polystyrenem Baumit OPEN – tloušťky 120 mm a jsou vyměněna okna a vstupní dveře za plastová.

## 2.1 Okrajové podmínky

Lokalita: okres Tábor, město Veselí nad Lužnicí

Klimatická oblast: 3

Návrhová venkovní teplota: - 17 °

Návrhová vnitřní teplota: 21°

Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu: 85%

Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu: 55%

Počet projektovaných osob: 4

[1]



## 3 Základní pojmy a fyzikální veličiny

Pro samotný výpočet úspory tepla je potřebné znát pojmy a veličiny, které se týkají tepelné techniky. Jejich hodnoty se pak získávají vyhodnocováním z předem daných okrajových podmínek nebo výpočtem pomocí tepelně technických vlastností použitých materiálů, které jsou ve stavební konstrukci zabudovány. Zohledňuje se i způsob, jakým jsou například izolační materiály přichyceny ke stěně. [3]

### 3.1 Tepelně izolační vlastnosti

Pokud máme různá prostředí, která jsou od sebe nějakým způsobem oddělena (v našem případě exteriér a interiér odděleny obvodovou stěnou) a mají různou teplotu, dochází k šíření tepla. To probíhá tak, že teplo přechází z prostředí o vyšší teplotě do prostředí o nižší teplotě. Tím se teploty vyrovnávají. [3] Z hlediska fyzikálních vlastností určíme následující veličiny: součinitel tepelné vodivosti, tepelný odpor konstrukce a součinitel prostupu tepla.

#### 3.1.1 Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$

Pro šíření tepla je součinitel tepelné vodivosti nejdůležitější veličinou. Představuje množství tepla, které projde za jednotku času krychlí o hraně 1 m při teplotním rozdílu 1 °C (předpokládá se, že 4 stěny krychle kolem dokola jsou dokonale tepelně odizolovány a teplo prochází jen skrz dvě neizolované). Vyjadřuje schopnost daného materiálu vést teplo. Jeho hodnotu nejvíce ovlivňuje objemová hmotnost materiálu, jeho pórovitost, vlhkost, chemické složení a jeho teplota. Za pomoci tohoto součinitele je možné porovnávat jednotlivé materiály a určit tak jejich ideální použití [3].

### 3.1.2 Tepelný odpor konstrukce R a součinitel prostupu tepla U

Tepelný odpor konstrukce R ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ) vyjadřuje schopnost materiálu klást odpor průchodu tepla. Charakterizuje tepelně izolační vlastnosti konstrukce [3].

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

d...tloušťka vrstvy (m)

$\lambda$ ...součinitel tepelné vodivosti ( $\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}$ )

Závisí pouze na charakteristickém rozměru a součiniteli tepelné vodivosti materiálu a proto platí, čím větší je tloušťka konstrukce při stejné hodnotě tepelné vodivosti  $\lambda$  nebo čím menší je součinitel tepelné vodivosti při stejné tloušťce d, tím větší je tepelný odpor konstrukce. U vícevrstvé konstrukce, kde jsou vrstvy řazeny za sebou, sčítáme jejich jednotlivé tepelné odpory:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

n...počet vrstev

Součinitel prostupu tepla U ( $\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) vyjadřuje celkovou výměnu tepla mezi prostory, které jsou od sebe odděleny určitou stavební konstrukcí o celkovém tepelném odporu R.

$$U = \frac{\lambda}{d} = \frac{1}{R_T}$$

$R_T$ ...tepelný odpor konstrukce při prostupu tepla

$$R_T = R_i + R + R_e$$

$R_i$ ...tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

$R_e$ ...tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

R...tepelný odpor konstrukce [3, 4]

## 4 Výpočet prostupu tepla obvodových stěn

Součinitel prostupu tepla  $U$  a tepelný odpor konstrukce  $R$  se stanoví pro podmínky ustáleného šíření tepla při návrhových okrajových podmínkách, které jsou stanoveny dle lokality, ve které se objekt nachází. Vyjadřují prostup tepla celou konstrukcí. Proto musí zahrnovat vliv všech tepelných mostů a jiných případných zdrojů tepelných toků obsažených v konstrukci [12]. Vliv tepelných mostů v konstrukci je možné zanedbat, pokud je jejich souhrnné působení menší než 5 % součinitele prostupu tepla vypočteného s vlivem tepelných mostů. V naší konstrukci jsou tepelnými mosty talířové hmoždinky s plastovým trnem, které jsou určeny pro upevnění tepelně izolačních desek. U těchto hmoždinek můžeme vliv tepelných mostů zanedbat [5].

Součinitel prostupu tepla vypočítáme pomocí následující rovnice.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} = \frac{1}{R_T}$$

## 4.1 Složení obvodových stěn a jejich technické parametry

Abychom mohli vypočítat součinitele prostupu tepla, potřebujeme ještě znát tepelně technické vlastnosti všech materiálů, ze kterých je stěna složena.

<b>Před zateplením</b>					
				CP 450 mm	CP 300 mm
		$\lambda$ (W/m·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	d (m)	d (m)
1	Omítka vápenná	0,870	1600	0,025	0,015
2	Zdivo CP1	0,800	1700	0,450	0,300
3	Omítka vápenocem.	0,990	2000	0,025	0,015
<b>Po zateplení</b>					
				CP 450 mm	CP 300 mm
		$\lambda$ (W/m·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	d (m)	d (m)
1	Omítka vápenná	0,870	1600	0,025	0,015
2	Zdivo CP1	0,800	1700	0,450	0,300
3	Omítka vápenocem.	0,990	2000	0,025	0,015
4	Lepidlo Baumit	0,800	1300	0,002	0,002
5	Fasádní p. B. (EPSC)	0,032	18	0,120	0,120
6	Lepidlo Baumit	0,800	1300	0,002	0,002
7	Fasádní stěrka B.	0,700	1700	0,003	0,003

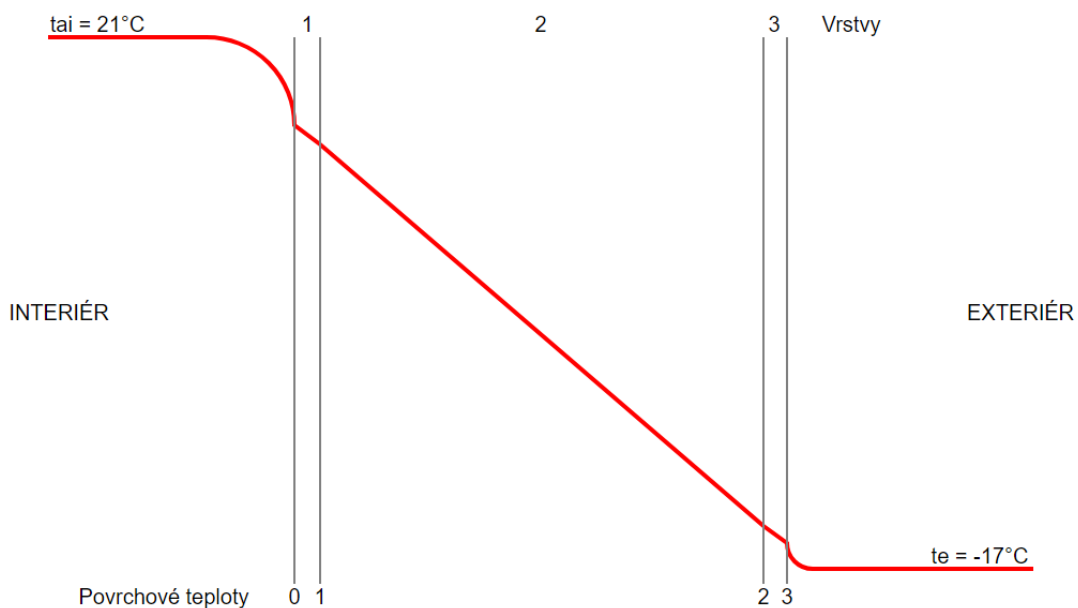
Tabulka 1 složení stěn a jejich technické parametry [1]

$\lambda$ ...součinitel tepelné vodivosti (W/m·K)

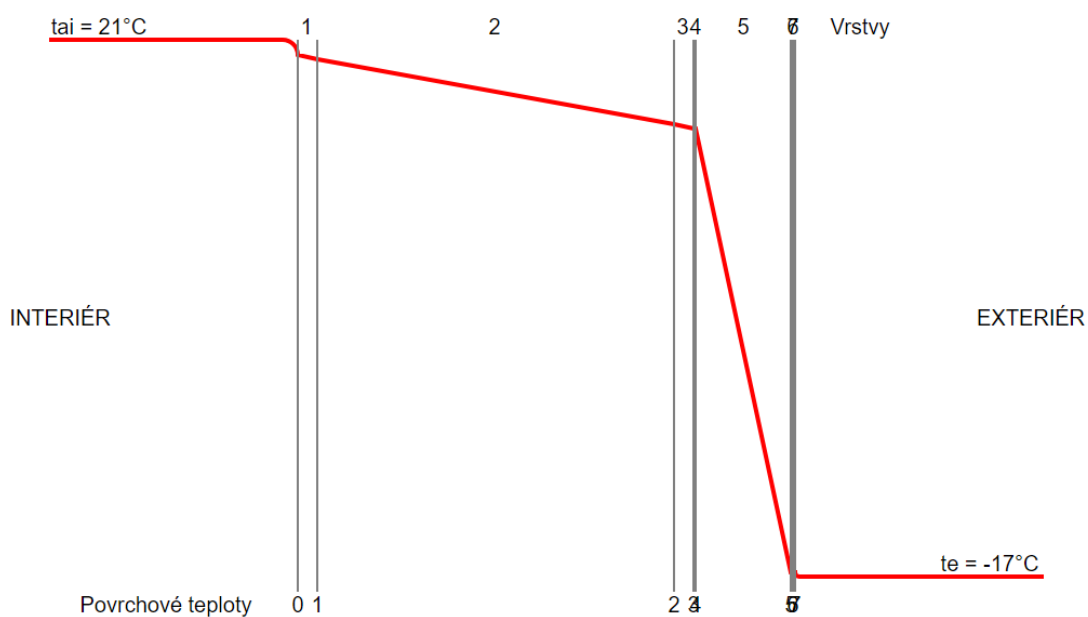
$\rho$ ...hustota materiálu (kg/m<sup>3</sup>)

d...tloušťka vrstvy (m)

Pozn.: Tepelný odpor lepidla Baumit open byl při tepelně technických výpočtech zanedbán, neboť jeho vrstva je tak malá, že je možné ji zanedbat.



Obrázek 2 Schéma složení stěny s průběhem teplot před zateplením [9]



Obrázek 3 Schéma složení stěny s průběhem teplot po zateplení [9]

Na obrázcích 2 a 3 můžeme vidět průběh teplot nezateplenou a zateplenou stěnou našeho objektu. U nezateplené stěny je viditelný velký pokles všemi třemi vrstvami, stěna je ochlazována vnějším prostředím, ale nic ji nechrání, a tak je spotřeba plynu k vytápění vnitřních prostor vyšší. Zateplením stěny tuto náročnost značně zmenšíme,

neboť v samotné stěně (v původních třech vrstvách), díky tepelné izolaci EPSC dochází k minimálnímu poklesu teplot z důvodu vysokého tepelného odporu izolační vrstvy [9].

Výpočet prostupu tepla jsme nejdříve provedli ručně, pomocí výše uvedených rovnic, a následně jsme pro kontrolu použili volně dostupný software na stránkách TZB-info. Existuje mnoho profesionálních programů k výpočtům tepelně technických vlastností, ale nám pro účely této práce postačí již zmíněný výpočet pomocí softwaru na TZB-info nebo pomocí programu Teplo 2017 EDU, ten budeme používat především na vyhodnocení difuze vlhkosti, který je volně dostupný pro nekomerční či studijní účely. Do programu je nutné zadat okrajové podmínky a údaje o jednotlivých vrstvách složené stěny. Následně získáme součinitele prostupu tepla všech obvodových stěn před i po zateplení objektu.

## 4.2 Součinitel prostupu tepla

Výsledky z výpočtů prostupu tepla před a po zateplení, uvedené v tabulce 2, jsme získali pomocí výše uvedeného vztahu v kapitole Výpočet prostupu tepla obvodových stěn, tyto získané hodnoty potřebujeme k následnému získání tepelných ztrát místností. Je nutné vypočítat součinitele prostupu tepla pro všechny stěny s odlišnými rozměry, tepelně technickými parametry, a všechna rozdílná vnitřní prostředí, která se v objektu liší v ohledu na místnosti. Například vnitřní výpočtová teplota v koupelně (24 °C) se liší od teploty v obývacím pokoji (21 °C), což musíme zohlednit ve výpočtech [5, 6, 9].

	Před zateplením (W/m <sup>2</sup> ·K)	Po zateplení (W/m <sup>2</sup> ·K)
Stěna 500 mm	1,274	0,220
Stěna 300 mm	1,734	0,229
Koupelna - stěna 500 mm	1,183	0,212
Koupelna - stěna 300 mm	1,744	0,226
Chodba - stěna 500 mm	1,353	0,225
Chodba - stěna 300 mm	1,988	0,233
Předsíň – stěna 300 mm	1,924	0,231

Tabulka 2 Součinitelé prostupu tepla U pro jednotlivé druhy obvodových stěn [autor]

## 5 Tepelné ztráty

Výpočet tepelných ztrát objektu obvodovými stěnami jsme provedli podle normy ČSN 06 0210. K tomuto výpočtu jsou důležití součinitelé prostupů tepla pro jednotlivé místnosti. Tato norma sice již byla zrušena, ale na rozdíl od ČSN 73 0540 zahrnuje vliv kotevních prostředků procházejících skrze izolace a korekční součinitele prostupu tepla  $\Sigma \Delta U$  při výpočtu celkového součinitele prostupu tepla  $U_c$  a proto jsme nemuseli zahrnovat tepelné mosty do výpočtových metod. Pro orientační výpočet tepelných ztrát a potřeby tepla na vytápění jsme použili výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210 na webu TZB-info. Tato zjednodušená výpočtová pomůcka je určena pro výpočet tepelné ztráty místnosti nebo pro výpočet tepelné ztráty celé budovy obálkovou metodou. V takovém případě uvažujeme vlastnosti popisující jednotlivé místnosti jako vlastnosti popisující počítanou budovu [6, 7].

V jednotlivých místnostech, které jsou očíslovány podle výkresové dokumentace, jsme opět provedli výpočet nejprve svépomocí dle potřebné normy a následně jsme provedli kontrolu pomocí portálu TZB-info. Po dosažení technických parametrů jednotlivých vrstev obvodových stěn jsme získali tepelné ztráty prostupem a celkovou tepelnou ztrátu místnosti uvedené v tabulce 3 [8].

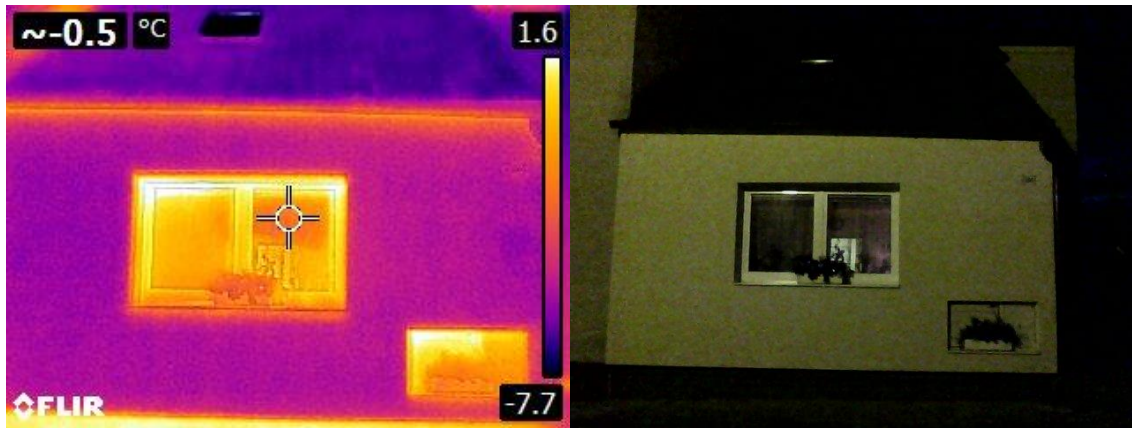
Místnost	Před zateplením		Po zateplení	
	$Q_p$ (W)	$Q_c$ (W)	$Q_p$ (W)	$Q_c$ (W)
1.6	2868	3324	609	1065
1.5	408	726	152	470
1.2	776	946	153	323
1.1	219	281	62	124
2.1	4277	4592	604	919
2.2	757	827	117	186
2.4	556	853	147	444
2.5	4197	4579	550	932

Tabulka 3 Tepelné ztráty jednotlivých místností našeho objektu [autor]

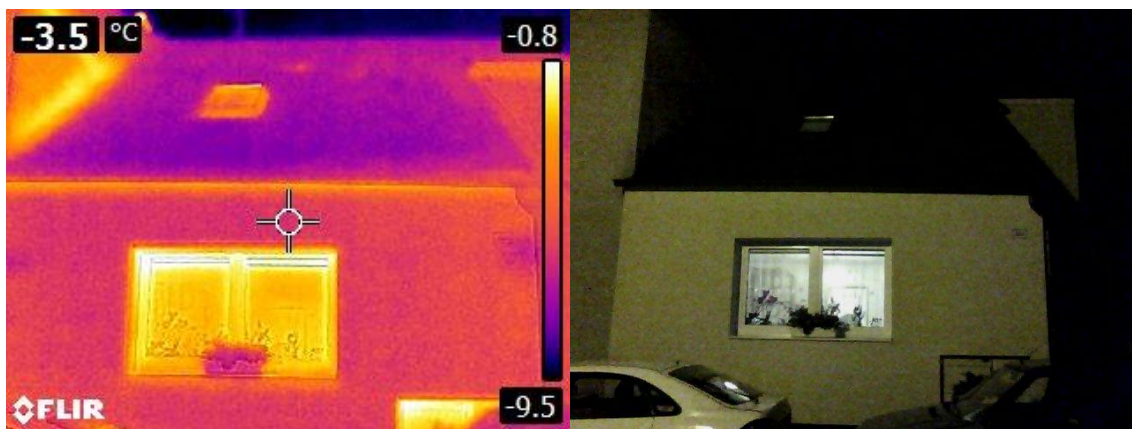
$Q_p$  ...Tepelná ztráta prostupem (W)

$Q_c$  ...Celková tepelná ztráta místnosti (W)

Na níže uvedených snímcích si můžeme názorně ukázat, jak je možné vidět tepelné ztráty pomocí termokamery. Na snímcích jsou dobře vidět místa s největším únikem tepla a je možné porovnat zateplený a nezateplený objekt.



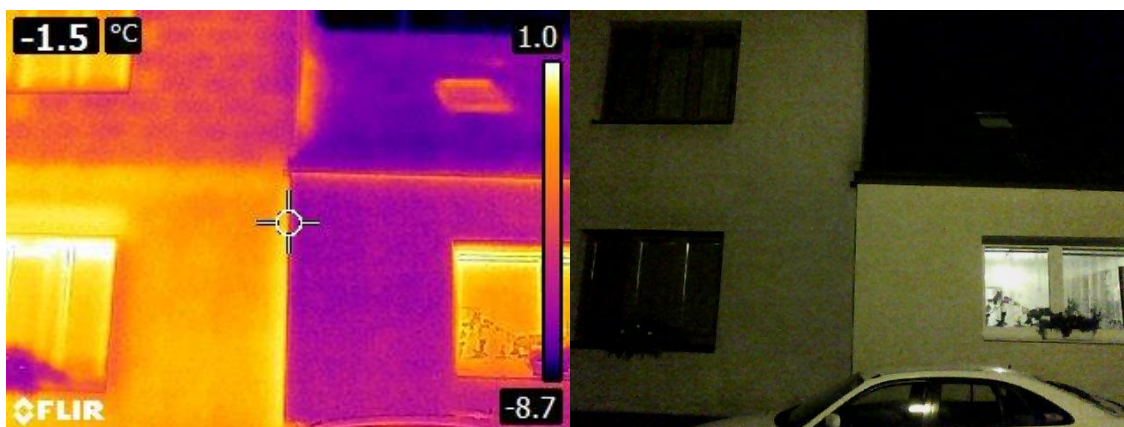
Obrázek 4 Snímek termokamery - pohled z ulice (povrchová teplota okna) [autor]



Obrázek 5 Snímek termokamery - pohled z ulice (povrchová teplota stěny) [autor]

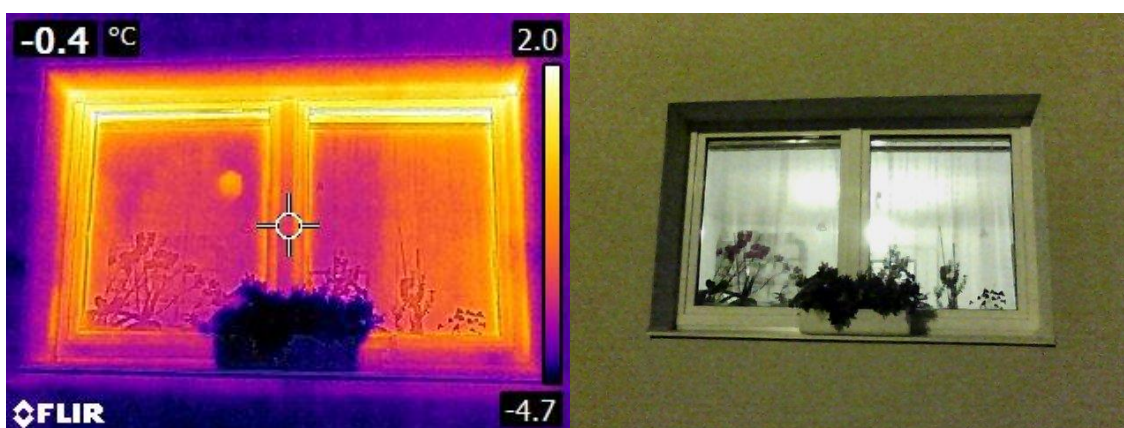
Na snímcích 4 a 5 můžeme vidět stěnu do ulice, kde je vidět, že největší úniky tepla jsou okny a nezateplenou skříň plynoměru. Také je na snímku termokamery znatelný pruh pod střechou, kde dochází k úniku, který si vysvětlují přechodem mezi stěnou a střechou, tedy i přechodem mezi tepelnou izolací a střechou.





Obrázek 6 Snímek termokamery - nezateplený vs zateplený objekt [autor]

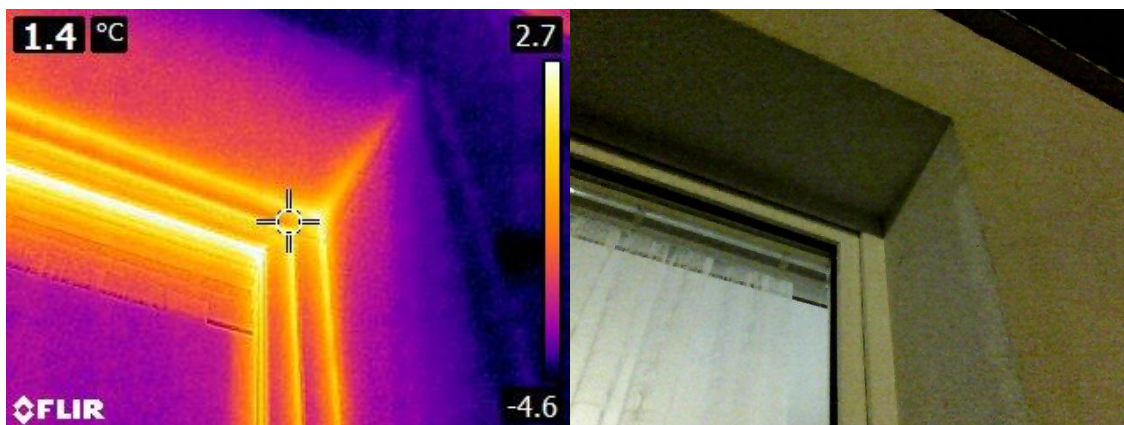
Na obrázku číslo 6 je vidět velký rozdíl mezi zatepleným (na obrázku vpravo) a nezatepleným (na obrázku vlevo) objektem. Je zde zřejmé, že se povrchová teplota nezateplené stěny pohybuje mezi -1 a -2 stupni Celsia, zatímco zateplená stěna má teplotu přibližně -7 stupňů. Také je možné pozorovat tepelné mosty u nezatepleného objektu, kterými je zde spojovací materiál mezi jednotlivými cihlami, stavebními bloky. V součiniteli tepelné vodivosti je totiž velký rozdílný mezi spojovacím materiálem, kterým je zde nejspíše malta, a stavebními bloky, které jsou zde cihly se vzduchovými komorami nebo tvárnice ytong, obě varianty mají řádově nižší součinitel tepelné vodivosti. U nezatepleného domu můžeme pozorovat i rozdílnou úroveň vytápění v 1. NP a 2.NP.



Obrázek 7 snímek termokamery - okno [autor]

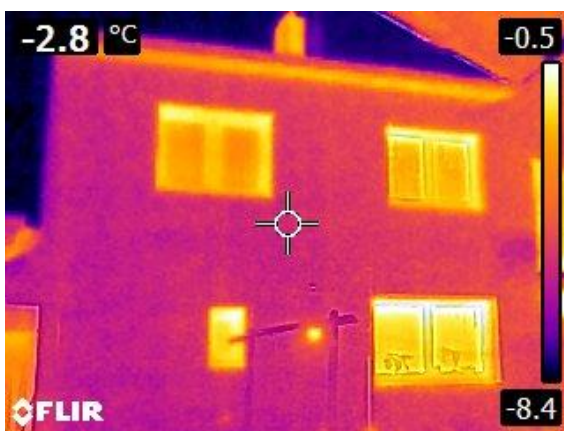
Jak již bylo řečeno, největší úniky tepla jsou okna, přestože došlo k jejich výměně a jsou instalována plastová okna s komorovým systémem v rámech. Největší únik tepla okny je jejich plastovým rámem, který, jak můžeme vidět na snímku 7, vede teplo

z celého okna nejvíce. Stále jde ale o velkou úsporu v porovnání s původními dřevěnými okny, která byla již na konci své životnosti a již nedokázala pořádně těsnit.



Obrázek 8 Snímek termokamery - detail rámu okna [autor]

Při detailním pohledu na rám okna vidíme, že největší únik tepla je opravdu rámem, ale je zde viditelný i spoj dvou izolačních desek v rohu zapuštěného rámu okna. Přestože se desky lepí těsně k sobě, jejich spojem dochází k malé tepelné ztrátě, jedná se o tepelný most.



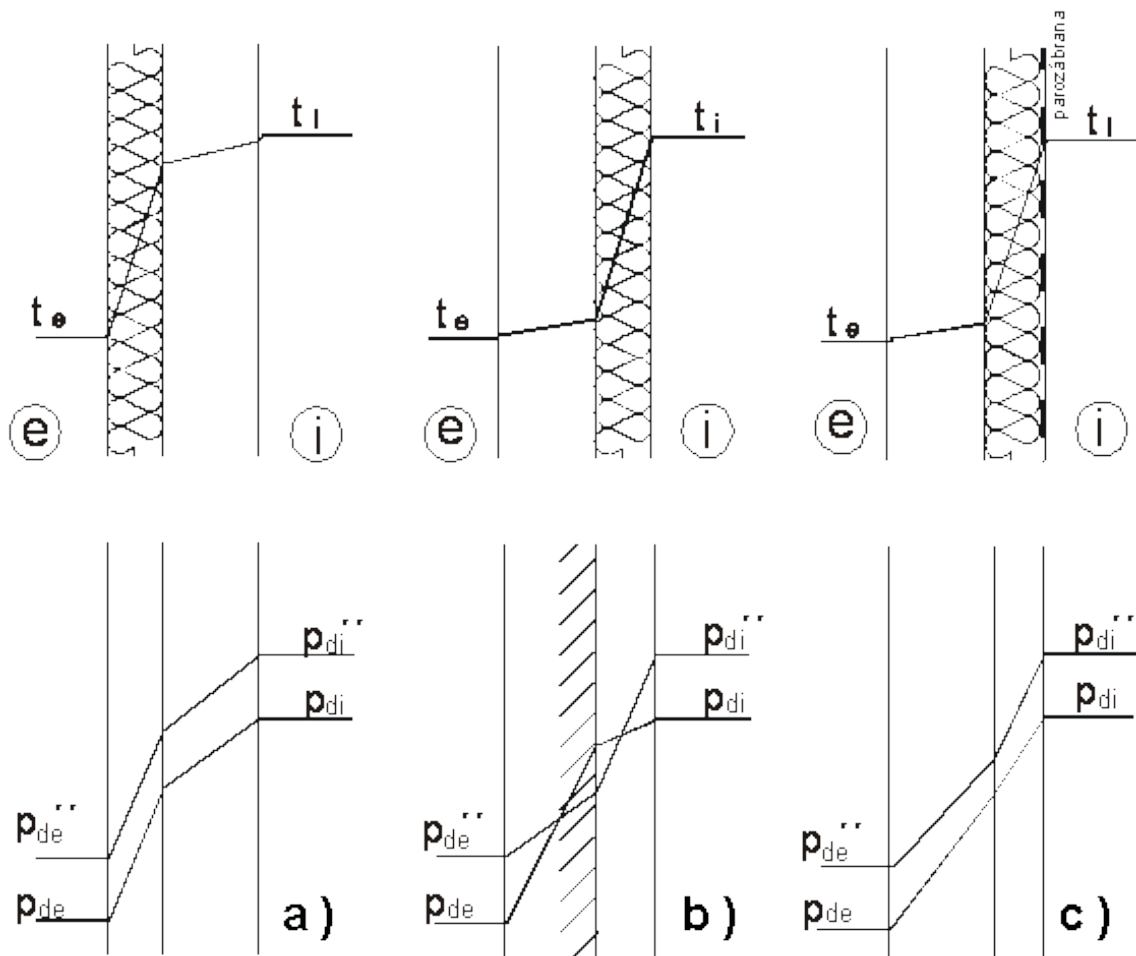
Obrázek 9 Snímek termokamery - pohled ze zahrady [autor]

Snímek 9 ukazuje největší stěnu, která chrání obě nadzemní podlaží. Tepelné ztráty jsou viditelné v oblasti oken a podhledu střechy, kde se nachází přechod mezi koncem tepelné izolace obvodových stěn a střechou. Tato ztráta je způsobena, stejně jako u stěny z ulice, přechodem mezi stěnou a střechou.

## 6 Difuze vlhkosti

Plynná prostředí za běžných podmínek obsahují vodní páru, pro nás je zástupcem tohoto stavu vzduch. Obsah vodní páry ve vzduchu vyjadřuje stav vlhkosti, který je dán relativní vlhkostí a teplotou. Bereme-li atmosférický tlak pro suchý vzduch, pak představuje vodní pára ve vzduchu částečný neboli parciální tlak, jehož velikost je přímo úměrná množství vlhkosti obsažené ve vzduchu. Stěnou oddělující dvě rozdílná prostředí (nejedná-li se o vakuum), v našem případě venkovní a vnitřní prostor, prochází vlhkost, kterou nazýváme difúzní. Tato vlhkost vždy přechází, podobně jako teplo, z prostředí s vyšší vlhkostí (s vyšším parciálním tlakem vodní páry) do prostředí s nižší vlhkostí (nižším parciálním tlakem vodní páry). U nezateplené stěny má vlhkost sice možnost kontinuálně odcházet (vypařovat se), to ale nepomůže v případě, kdy dojde ke zkondenzování většího množství vodní páry, než je množství vypařitelné. U této stěny dochází ke kondenzaci za vyšších teplot než u zateplené. Problémem se tato vlhkost může stát v případě, kdy dojde k zateplení stěny a my tím zabráníme průchodu, odpařování této vlhkosti. Vytvořená difúzní vlhkost nesmí překročit takové množství, které je schopno se včas odpařit, aby nedocházelo ke kondenzaci vlhkosti ve stěně a tím pádem k vytváření plísní nebo k promrzání zkondenzované vlhkosti v zimních měsících a následnému porušení pláště budovy. Riziko kondenzace vodní páry v konstrukci při nižších teplotách venkovního vzduchu je větší než při kondenzaci za vyšších venkovních teplot, a proto se posudek provádí právě pro toto kritické období [6, 10, 12].

Na obrázku 10 jsou 3 varianty zateplení obvodové stěny objektu, kterými lze vyřešit úsporu tepla, ale ne všemi variantami je možné se vypořádat s difuzí vlhkosti.



Obrázek 10 Schéma složení stěn s průběhem teploty a parciálních tlaků vodní páry [19]

$p_d$ ...průběh parciálních tlaků vodní páry

$p_d''$ ...průběh parciálních tlaků vodní páry při nasycení

Varianta a) znázorňuje průběh parciálních tlaků vodní páry v obvodové konstrukci s tepelnou izolací na venkovní straně. Zpravidla tu nedochází ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, neboť průběh tlaků odpovídá  $p_d < p_d''$ . U varianty b), průběhu parciálních tlaků vodní páry v obvodové konstrukci s tepelnou izolací na vnitřní straně, dochází k prochlazení obvodové konstrukce. Teploty uvnitř konstrukce jsou nižší než v případě vnější tepelné izolace a proto i parciální tlaky  $p_d''$  dosahují nižších hodnot a dostávají se i pod hodnoty  $p_d$ , v části stěny tedy platí  $p_d > p_d''$ , v tomto případě dochází ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce, tato oblast kondenzace se nazývá zóna kondenzace. U schématu c), jde vlastně o modifikaci varianty s tepelnou izolací na vnitřní

straně, ale na vnitřní stranu byla přidána ještě parozábrana, tou bylo zabráněno kondenzaci, která byla u varianty b). Parozábrana způsobí skokové snížení hodnot parciálních tlaků vodní páry uvnitř konstrukce  $p_d$  pod hodnoty  $p_d''$  (dosahujeme tedy požadovaného stavu  $p_d < p_d''$ ), čímž dojde k zabránění kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce. Nejvýhodnější variantou ke konstrukci, jak z finančního hlediska, tak i z pohledu montáže, je varianta a) [12, 19].

## 6.1 Průběh teplot ve stěně

K určení parciálních tlaků vodní páry při nasycení potřebujeme znát přesné hodnoty teplot v průřezu celé stěny, základní body tohoto průběhu jsou přechody mezi jednotlivými vrstvami. K určení všech teplot ve stěně musíme nejprve vypočítat tepelný tok procházející stěnou. Jelikož máme rovinnou stěnu složenou z několika vrstev různé tloušťky a různé tepelné vodivosti, použijeme naše, již vypočtené,  $U$  a návrhové teploty z okrajových podmínek [12].

$$Q_{\tau} = U \cdot (t_{in} - t_{ext})$$

$Q_{\tau}$  ...tepelný tok stěnou (W)

$t_{in}$  ...vnitřní návrhová teplota (°C)

$t_{ext}$  ... vnější návrhová teplota (°C)

Tento ustálený tepelný tok je konstantní v celé stěně, protože prochází všemi vrstvami. Za těchto podmínek můžeme použít následující rovnice pro výpočet teplot na přechodu prostředí vnitřní-stěna (po úpravě vzorce na přechodu stěna-prostředí vnější)

$$t_1 = t_{in} - Q_{\tau} \left( \frac{1}{\alpha_1} \right)$$

$t_1$  ...povrchová teplota stěny na vnitřní straně

$\alpha_1$  ...součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (W/m<sup>2</sup>·K)

a následně na jednotlivých přechodech mezi vrstvami stěny. Kde  $d_i$  a  $\lambda_i$  jsou vždy parametry jednotlivých vrstev [12, 21].

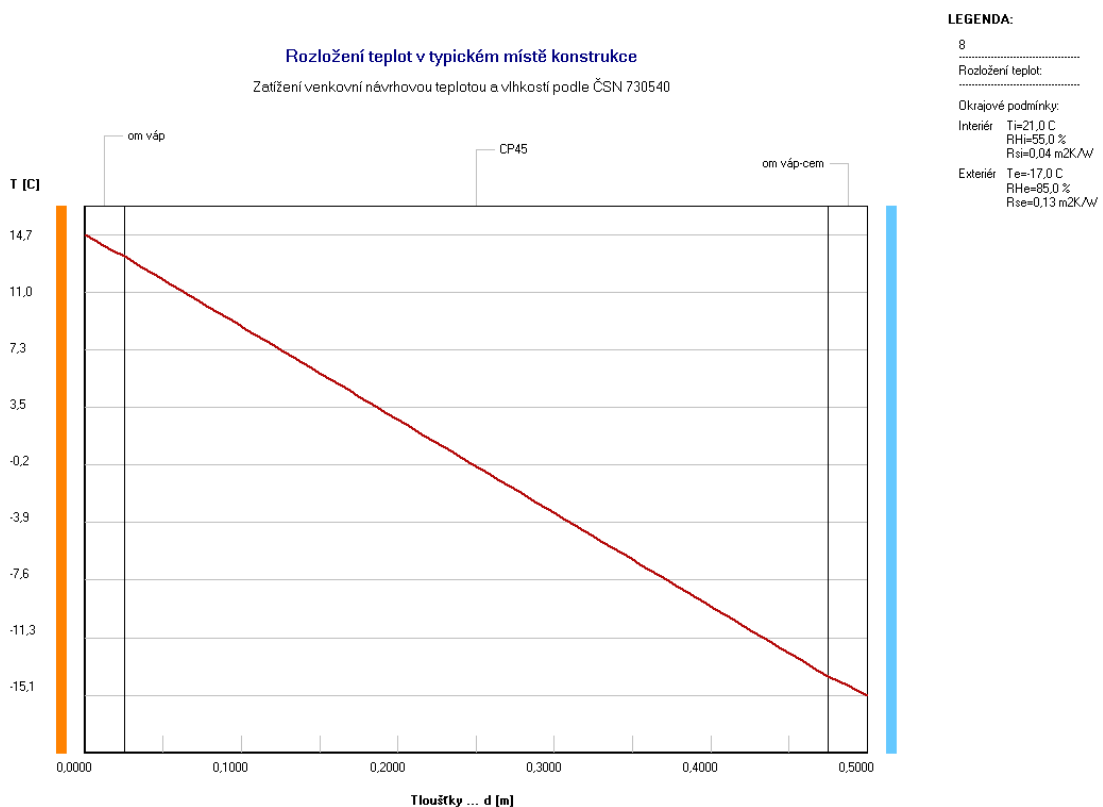
$$t_n = t_{in} - Q_\tau \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n-1} \frac{d_i}{\lambda_i} \right)$$

Níže je přehled teplot na přechodech jednotlivých vrstev, vypočtených pomocí uvedené metody, a jejich znázornění v grafu pro nezateplenou i zateplenou stěnu. Pro ověření vypočtených teplot jsme provedli kontrolu pomocí programu Teplo 2017 EDU.

Nejprve se podíváme na stěnu nezateplenou. Vypočítali jsme vnější i vnitřní povrchové teploty a následně teploty na rozhraní jednotlivých vrstev. Z grafu (11) je patrný téměř lineární pokles teplot v celé stěně, protože součinitelé tepelné vodivosti všech vrstev jsou velmi podobné.

Rozhraní	Povrchová 1	1-2	2-3	Povrchová 3
T (°C)	14,95	13,56	-13,67	-14,90

Tabulka 4 Vypočtené teploty v hlavních bodech třívrstvé stěny [autor]

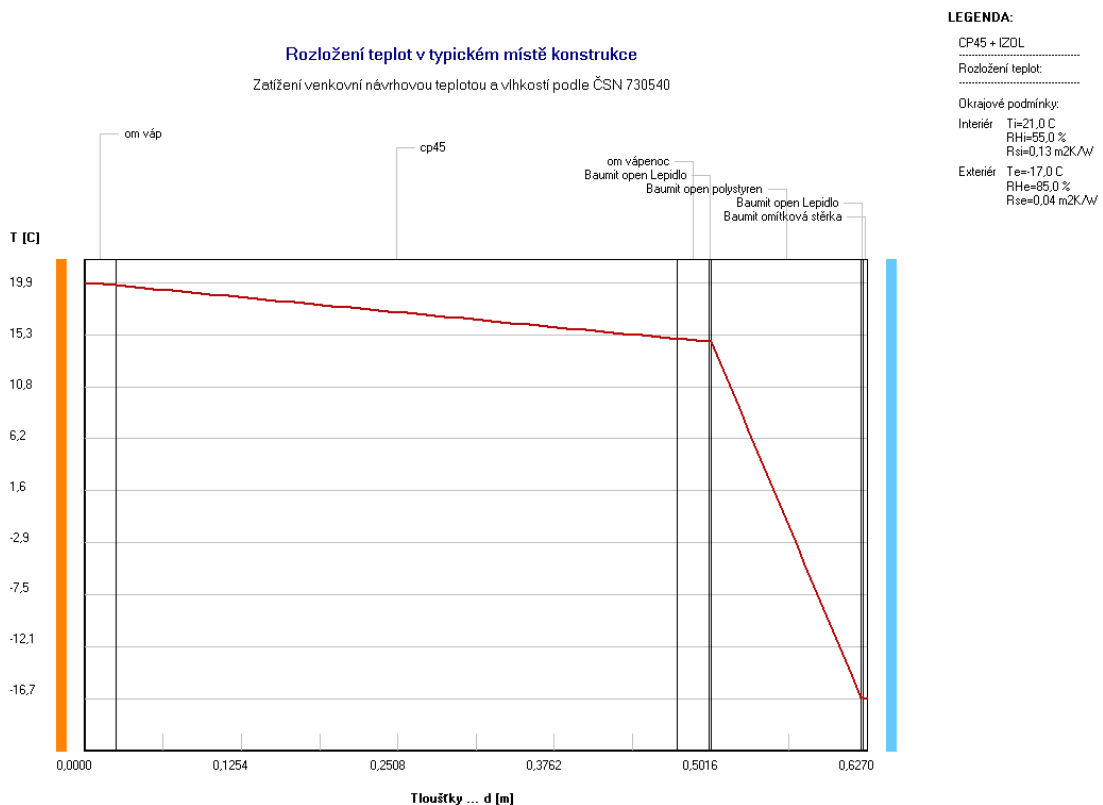


Obrázek 11 Graf průběhu teplot třívrstvé stěny [20]

Po zateplení má stěna vrstev 7 a opět jsme provedli výpočty pro všechny vrstvy této stěny. Přidáním tepelné izolace jsme ale dosáhli velké změny v průběhu teplot. Největší rozdíl teplot pohltila izolace a v původní stěně je nyní pokles přibližně 5 °C.

Rozhraní	Povrch. 1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	Povrch. 7
T (°C)	19,95	19,71	15,01	14,80	14,78	-16,58	-16,60	-16,64

Tabulka 5 Vypočtené teploty v hlavních bodech zateplené sedmivrstvé stěny [autor]



Obrázek 12 Graf průběhu teplot zateplené sedmivrstvé stěny [20]

## 6.2 Faktor difuzního odporu $\mu$

Faktor difuzního odporu je základní a vlastně jediná veličina, která vyjadřuje schopnost materiálu propouštět difuzi vodní páry. Tato bezrozměrná veličina je poměrem schopnosti difúze daného materiálu se schopností difúze vzduchu. Pomocí jeho hodnot můžeme jednotlivé materiály porovnávat a určit k jakému použití jsou tedy vhodné. Různé fólie a parozábrany difuzi vlhkosti neumožňují a mají tedy faktor

difuzního odporu vysoký (až v hodnotách statisíců). Pro vzduch je faktor difuzního odporu roven 1 [23].

V tabulce 6 jsou všechny technické údaje obvodových stěn, které potřebujeme jak k tepelným výpočtům, tak k řešení difuze vlhkosti.

					CP 450 mm	CP 300 mm
		$\lambda$ (W/m·K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (1)	D (m)	D (m)
1	Omítka vápenná	0,870	1600	6	0,025	0,015
2	Zdivo CP1	0,800	1700	8,5	0,450	0,300
3	Omítka vápenocem.	0,990	2000	19	0,025	0,015
4	Lepidlo Baumit	0,800	1300	18	0,002	0,002
5	Fasádní p. B. (EPSC)	0,032	18	10	0,120	0,120
6	Lepidlo Baumit	0,800	1300	18	0,002	0,002
7	Fasádní stěrka B.	0,700	1700	19	0,003	0,003

Tabulka 6 Tepelně technické a difuzní vlastnosti vrstev [1]

### 6.3 Průběh parciálních tlaků

U našeho objektu před zateplením, jak můžeme vidět na obrázku číslo 13, byl průběh parciálních tlaků vodní páry a vodní páry při nasycení vzájemně protínán, protože pokles parciálních tlaků vodní páry při nasycení je větší než u parciálních tlaků vodní páry. K tomuto nechtěnému jevu dochází díky špatným tepelným vlastnostem konstrukčního materiálu (cihla plná). Ve stěně docházelo ke kondenzaci v kondenzační zóně, která zaujímal zhruba třetinu celé tloušťky stěny. Tato kondenzace se projevila především lokálním narušováním vnější omítky. Po realizaci zateplení obvodových stěn vnější tepelnou izolací (expandovaným polystyrenem s příměsí uhlíku) došlo k výrazné změně. V největší vrstvě, tedy cihle plné, došlo ke zmírnění a narovnání poklesu parciálních tlaků vodní páry při nasycení díky tepelné izolaci, ve které můžeme pozorovat



největší pokles parciálních tlaků vodní páry při nasycení v celé stěně. Je tomu tak díky součiniteli tepelné vodivosti a faktoru difuzního odporu, který určuje vlastnost prostupnosti vlhkosti daným materiálem [12].

## 6.4 Výpočet parciálních tlaků

Pomocí grafů 13, 14 a 15, 16 porovnáváme dvě varianty získání hodnot parciálních tlaků. Hodnoty tlaků získané odečtem krajních hodnot  $p_D$  z h-x diagramu, tyto hodnoty jsou určeny pomocí okrajových podmínek, vnitřní a vnější návrhové teploty a vnitřní a vnější návrhové relativní vlhkosti. Pomocí těchto získaných krajních tlaků můžeme dopočítat zbylé tlaky  $p_D$ , tedy tlaky na přechodu dvou sousedních vrstev uvnitř stěny, pomocí vztahu:

$$\dot{m}_D = \mu \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} = \mu_1 \cdot \frac{\Delta p_1}{\Delta x_1} = \mu_2 \cdot \frac{\Delta p_2}{\Delta x_2}$$

$\dot{m}_D$ ...jednotkové množství par, které projde rovinnou stěnou (kg/m<sup>2</sup>)

$\mu$ ... faktor difuzního odporu (1)

$\Delta p$ ...rozdíl krajních parciálních tlaků celé stěny (Pa)

$\Delta p_1$ ...rozdíl parciálních tlaků první vrstvy (Pa)

$\Delta x$ ...celková tloušťka stěny (m)

$\Delta x_1$ ...tloušťka první vrstvy (m)

Tento vztah můžeme použít pouze za předpokladu, že veškerá vlhkost projde skrz celou stěnu a  $\dot{m}_D$  je tedy ve všech vrstvách konstantní [12, 10].

Následně z h-x diagramu odečítáme hodnoty tlaků  $p_D$ ". Ty získáme za pomoci vypočtené teploty uvnitř stěny a jelikož jde o parciální tlak nasycené vodní páry, tak musíme brát hodnotu 100 % nasycení vodní parou [10].

Jako další variantu jsme zvolili volně dostupný program Teplo 2017 EDU, pro nekomerční posuzování staveb, který reprezentuje profesionální, v praxi používané,

programy k vypracování projektů, týkajících se tepelně-technických vlastností stěny. Tento výpočet jsme provedli především ke kontrole námi získaných hodnot.

## 6.5 Porovnání získaných hodnot

Porovnávání dvou metod, kterými jsme získali výsledné hodnoty, provádíme z důvodu konečné kontroly a určení přesnosti našeho výpočtu.

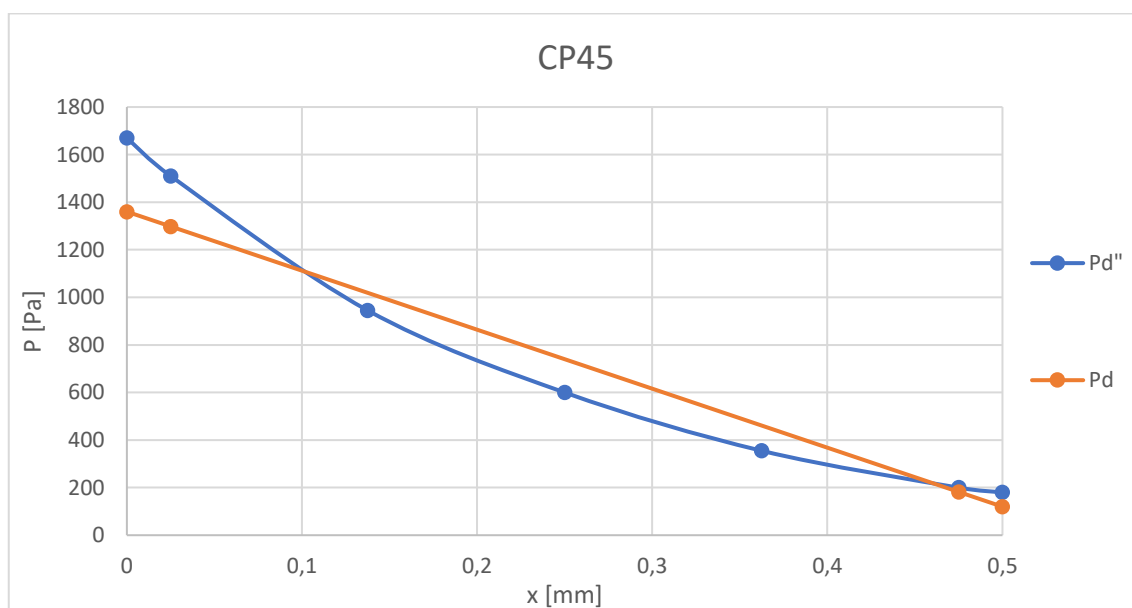
Nejprve srovnáme hodnoty získané pro nezateplenou stěnu

rozhraní	interiér	1-2	2-3	exteriér
T (°C)	14,95	13,56	-13,67	-14,90
$p_D$ (Pa)	1360	1298	182	120
$p_D''$ (Pa)	1670	1510	200	180

Tabulka 7 Vypočtené hodnoty parciálních tlaků – stěna nezateplená [autor]

rozhraní	interiér	1-2	2-3	exteriér
T (°C)	14,70	13,30	-13,80	-15,10
$p_D$ (Pa)	1367	1325	250	116
$p_D''$ (Pa)	1674	1530	183	164

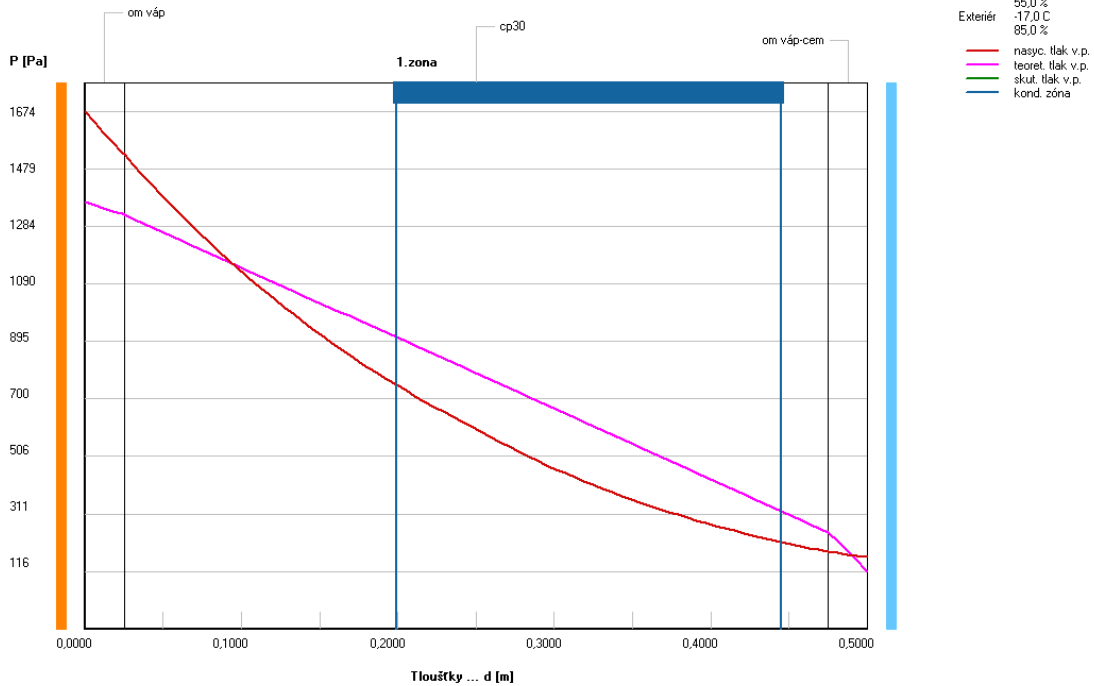
Tabulka 8 Získané hodnoty parciálních tlaků z programu TEPLO2017 EDU – stěna nezateplená [20]



Obrázek 13 Graf vypočtených hodnot průběhu parciálních tlaků – stěna nezateplená [autor]

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



#### LEGENDA:

- Rozložení tlaků:
- Ohraničovací podmínky:  
 Interiér 21,0 °C  
 55,0 %  
 Exteriér -17,0 °C  
 85,0 %
- nasyc. tlak v.p.
  - teoret. tlak v.p.
  - skut. tlak v.p.
  - kond. zóna

Obrázek 14 Graf získaných hodnot průběhu parciálních tlaků z programu TEPLO2017 EDU – stěna nezateplená [20]

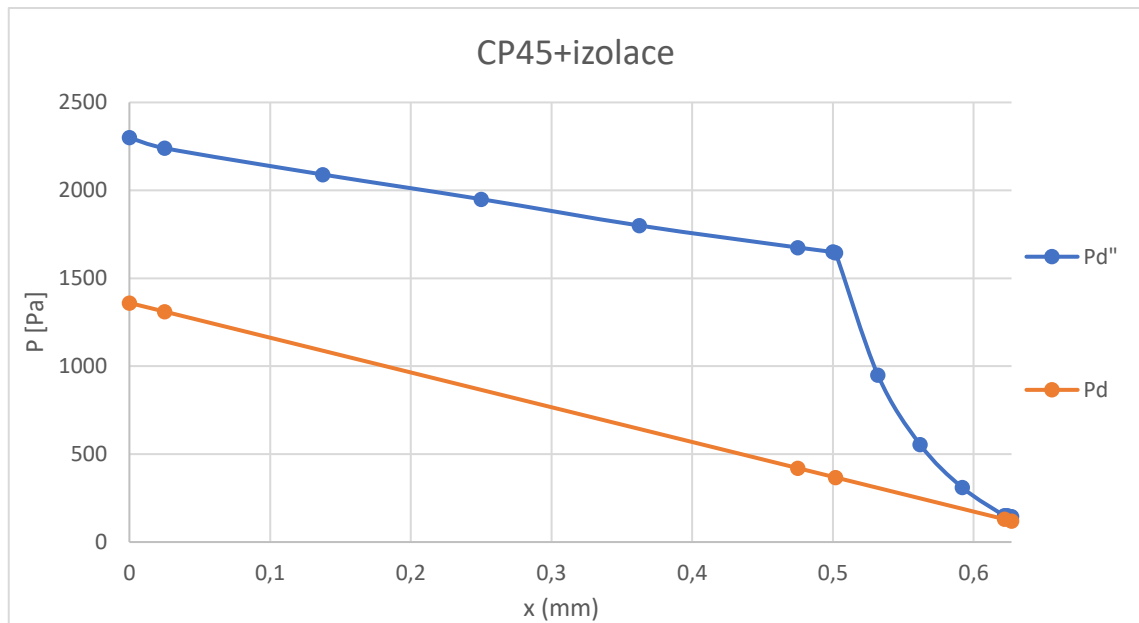
Následuje srovnání hodnot pro zateplenou stěnu

rozhraní	interiér	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	exteriér
T (°C)	19,95	19,71	15,01	14,80	14,78	-16,58	-16,60	-16,64
$p_D$ (Pa)	1360	1310,6	420,6	zanedb.	367,2	129,9	zanedb.	120
$p_D''$ (Pa)	2300	2240	1675	1650	1645	150	150	145

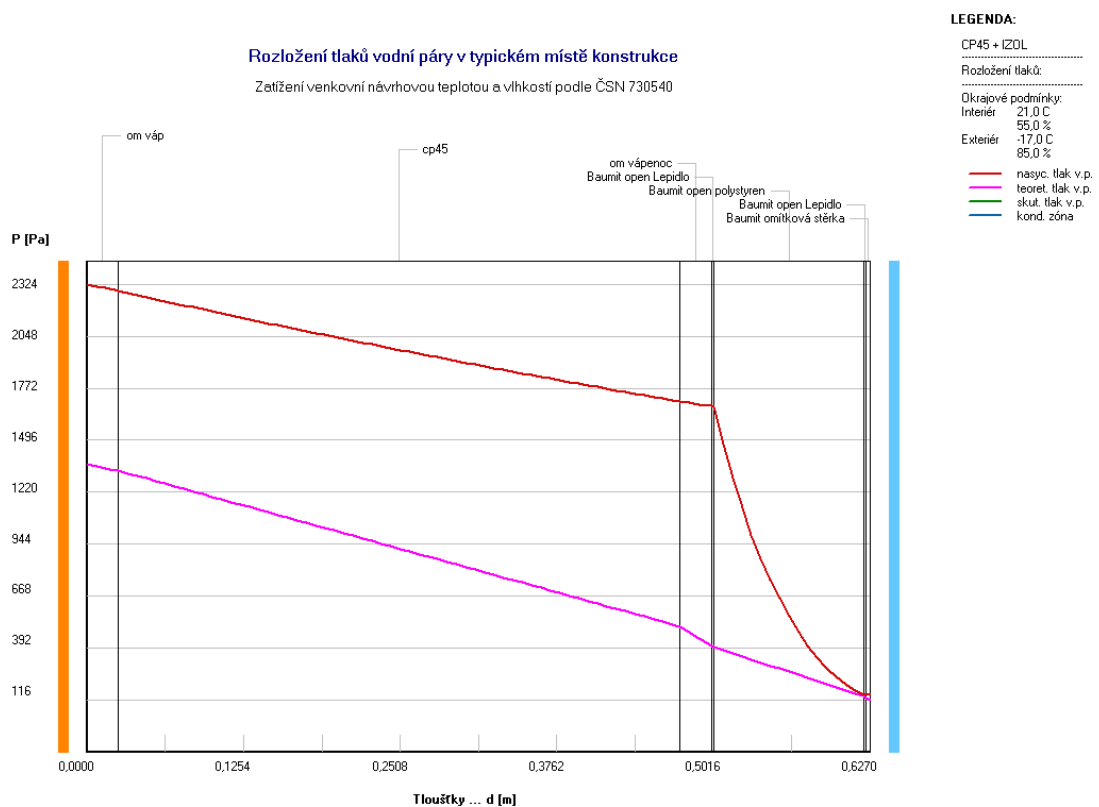
Tabulka 9 Vypočtené hodnoty parciálních tlaků – stěna zateplená [autor]

rozhraní	interiér	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	exteriér
T (°C)	19,90	19,70	15,00	14,80	14,70	-16,60	-16,60	-16,70
$p_D$ (Pa)	1367	1335	507	404	396	136	129	116
$p_D''$ (Pa)	2324	2290	1701	1678	1676	142	142	141

Tabulka 10 Získané hodnoty parciálních tlaků z programu TEPLO2017 EDU – stěna zateplená [20]



Obrázek 15 Graf vypočtených hodnot průběhu parciálních tlaků – stěna zateplená [autor]



Obrázek 16 Graf získaných hodnot průběhu parciálních tlaků z programu TEPLO2017 EDU – stěna zateplená [20]

Z tabulek 7, 8 a 9, 10, ze kterých vycházejí grafy 13, 14 a 15, 16 můžeme vidět, že rozdíly mezi námi vypočtenými hodnotami a hodnotami získanými pomocí programu Teplo 2017 EDU jsou až na pár výjimek minimální. Důvodem rozdílu námi vypočtených hodnot  $p_D$  a hodnot získaných programem Teplo, je použití idealizovaných podmínek.

Program Teplo pak používá korekční koeficienty, např. ke korekci vlivů tepelných mostů, které ovlivňují výpočet teplot a tím i hodnoty tlaků. U hodnot  $p_D$  odchylka vychází již ze zmíněných odchylek teplot a případného nepřesného odečtení hodnot z h-x diagramu [10, 20].

## 6.6 Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry

Jestliže v konstrukcích dochází ke kondenzaci vodní páry je dalším krokem výpočet roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry. Pro výpočet zkondenzovaného množství vodní páry a následné vyhodnocení lze použít výpočet dle normy ČSN 73 0540 nebo ČSN EN ISO 13 788. Výsledkem roční bilance je zjištění, zda veškerá vlhkost, která byla zkondenzovaná během ročního cyklu je schopna se v průběhu dalšího (stejného) cyklu zase odpařit. Vypočítáním ročního zkondenzovaného množství vodní páry a množství páry, která se vypaří za rok zjistíme jasný stav roční bilance. Výsledná hodnota roční bilance může být buďto kladná (aktivní), což znamená, že veškerá vlhkost zkondenzovaná během ročního cyklu se během téhož cyklu zcela odpaří nebo roční bilance záporná (pasivní), kdy se zkondenzovaná vlhkost v průběhu ročního cyklu není schopna odpařit v plném rozsahu a dochází tak k jejímu dlouhodobému shromažďování uvnitř konstrukce [6, 10, 11, 12].

V našem případě, před zateplením docházelo v konstrukci ke kondenzaci při venkovní teplotě nižší než 0 °C a množství zkondenzované vodní páry bylo  $M_c = 3,272$  kg/m<sup>2</sup> za rok, přičemž množství vypařitelné zkondenzované vodní páry bylo  $M_{ev} = 1,841$  kg/m<sup>2</sup> za rok u stěny o tloušťce 500 mm. U stěny o tloušťce 300 mm byly hodnoty ve zhruba stejném poměru, ale byly znatelně vyšší,  $M_c = 9,027$  kg/m<sup>2</sup> za rok a  $M_{ev} = 4,074$  kg/m<sup>2</sup> za rok [1]. Po zateplení se jsme se problému s nevypařenou vlhkostí v konstrukci zbavili. Ke kondenzaci v konstrukci dochází při venkovní teplotě nižší než -15 °C. Ve stěně 500 mm jsme se kondenzace zbavili úplně a ve stěně 330 mm se množství zkondenzované vodní páry přiblížilo nule,  $M_c = 0,001$  kg/m<sup>2</sup> za rok, přičemž množství vypařitelné zkondenzované vodní páry se vyšilo,  $M_{ev} = 17,980$  kg/m<sup>2</sup> za rok [1].

Ke kontrolním výpočtům byl použit výpočtový software Teplo 2017 EDU.

## 7 Denostupňová metoda a spotřeba tepla

Základní stanovení potřeby tepla pro vytápění s ohledem na měnící se klimatické podmínky jednotlivých let umožňuje metoda využívající takzvané denostupně. Denostupně mají úzkou vazbu na jeden den, tedy časový interval 24 hodin. Jde o rozdíl mezi průměrnou denní venkovní teplotou a teplotou, kterou máme danou okrajovými podmínkami (vnitřní návrhová teplota). Základem metody je zadání průběhů venkovních teplot z meteorologických dat. V profesionálních programech je možné použít pomůcku Výpočet denostupňů, která slouží ke stanovení charakteristik topného období - počtu denostupňů a počtu topných dnů. Výpočet se provádí nad databází denních průměrných teplot venkovního vzduchu [14].

Základní výpočtový vztah:

$$D^{\circ}(t_{is}) = d_T \cdot (t_{is} - t_{es})$$

$D^{\circ}(t_{is})$ ... počet vytápěcích denostupňů vztahených k interiérové teplotě za měsíc

$d_T$ ...počet topných dnů (dny)

$t_{is}$ ...průměrná vnitřní teplota objektu (°C)

$t_{es}$ ...průměrná venkovní teplota za otopné období (°C)

Počet denostupňů charakterizovaných příslušnou vnitřní teplotou je dán součinem počtu topných dnů a rozdílu průměrné vnitřní a venkovní teploty. Výpočet se provádí pro každý den ze zadaného období zvlášť [13]. Jedním z hlavních problémů je stanovení počtu topných dnů. Výpočet vychází ze současné legislativní úpravy uvedené ve vyhlášce č. 152/2001 Sb.

Otopné období je čas, ve kterém jsou zdroje tepla používány k dodávce tepla spotřebitelům, začíná 1. září a končí 31. května. Dodávka tepla se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě poklesne pod +13 °C ve dvou dnech jdoucích po sobě a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den. Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot v 7, 14 a ve 21 hodin, přičemž teplota měřená ve 21 hodin se počítá dvakrát. Po přechodu na letní čas je nutné posunout i dobu měření na 8:00, 15:00 a 22:00 hodin. Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy,

když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě vystoupí nad +13 °C ve dvou dnech jdoucích po sobě a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod +13 °C se vytápění obnoví [13].

K výpočtům byly použity průměrné venkovní teploty klimatické oblasti Jindřichův Hradec:

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Theta_{em}$	-1,0	1,0	1,0	9,0	14,6	17,0	18,2	18,8	13,8	9,4	4,0	-0,5

Tabulka 11 Průměrné výpočtové venkovní teploty v lokaci RD [1]

$\Theta_{em}$ ...průměrná venkovní teplota (°C)

Po obdržení ročního vyúčtování za energie ho můžeme porovnat s jinými roky, kolik energie bylo spotřebováno za vytápění. Pokud k tomu známe počet denostupňů v dané lokalitě, můžeme porovnání provést i s ohledem na konkrétní klimatické podmínky a porovnání pak má mnohem větší přesnost [13, 14].

Teoretická potřeba při přerušovaném vytápění se pak počítá ze vztahu:

$$Q_r = 24 \cdot Q_c \cdot 3600 \cdot d_T \cdot \left[ \frac{(t_{is} - t_{es})}{(t_{in} - t_{ext})} \right] \cdot \varepsilon$$

kde je

$Q_r$ ...teoretická potřeba tepla na vytápění (J)

$Q_c$ ...celková tepelná ztráta objektu (W) ( $Q_c = Q_p + Q_v$ )

$Q_p$ ...tepelná ztráta objektu (místnosti) prostupem (W)

$Q_v$ ...tepelná ztráta objektu (místnosti) větráním (W)

$d_T$ ...počet dnů ve vytápěcím období (dny)

$t_{is}$ ...průměrná vnitřní teplota objektu (místnosti) (°C)

$t_{es}$ ...průměrná venkovní teplota za otopné období (°C)

$t_{ext}$ ...venkovní návrhová teplota (°C)

$t_{in}$ ...vnitřní návrhová teplota (°C)

$\varepsilon$ ...opravný součinitel (1)

Pomocí tohoto vztahu jsme získali energetickou náročnost na roční vytápění a s uvažováním spotřeby energie na ohřev TUV a vaření též celkovou roční energetickou bilanci [14].

Před zateplením	
Vytápění (MWh/rok)	Vytápění + TUV + vaření (MWh/rok)
37,5	45,6
Po zateplení	
Vytápění (MWh/rok)	Vytápění + TUV + vaření (MWh/rok)
16,5	20,6

*Tabulka 12 Vypočtená potřeba tepla před a po zateplení [autor]*

V našem objektu je vytápění, ohřev teplé užitkové vody a vaření zajištěno pomocí plynu. V tabulce 12 můžeme vidět, že k vytápěním před zateplením bylo potřeba 37,5 MWh, s ohřevem teplé užitkové vody a vařením to bylo až 45,6 MWh. Tyto hodnoty nám po zateplení razantně klesly, více jak o polovinu. K vytápění a ohřevu teplé užitkové vody je nyní potřeba 20,6 MWh ročně, z čehož je 16,5 MWh jen na vytápění. Díky těmto údajům můžeme dopočítat následnou finanční návratnost díky úsporám za vytápění [15].



## 8 Finanční zhodnocení

Investice do zateplení rodinného domu je perspektivní vklad. Počítáme s tím, že dojde ke snížení nákladů za vytápění a díky tomuto snížení dojde po určité době k návratnosti počáteční investice. Návratnosti pomáhá také fond Zelená úsporám, na studii a následnou realizaci projektu přispívá dotací, díky které dojde k návratnosti investice značně dříve.

### 8.1 Finanční náročnost

Faktura	Bez DPH [Kč]
Projekt	20 000
Okna	60 858,71
Zateplení RD 1	59 656,71
Zateplení RD 2	61 621,06
Zateplení RD 3	136 363,63
<b>Celkem</b>	<b>318 520,11</b>
Zelená úsporám	
Dotace projektu	20 000
Dotace realizace	106 250
<b>Celkem s dotacemi</b>	<b>192 270,11</b>

*Tabulka 13 Celková finanční náročnost na provedení zateplení a dotace Zelená úsporám [autor]*

V tabulce 13 jsou veškeré prostředky podílející se na financování uskutečnění celého projektu. Jsou zde započítány všechny faktury za projekt a celkovou realizaci a následně jsou od součtu těchto částek odečteny dotace. Tím dostaneme celkovou částku 192 270,11 Kč, všechny částky jsou uvedeny bez DPH [1].

V tabulce 14 máme již shrnuté základní data potřebné k výpočtu doby návratnosti, hodnota celkové investice (IN) i investice s vlivem dotace (IN<sub>d</sub>). Díky vypočtené úspoře z kapitoly 7 můžeme stanovit i roční uspořenou částku, tedy roční cash flow (CF).

IN (Kč)	IN <sub>d</sub> (Kč bez DPH)	CF (Kč bez DPH)
318520,10	192270,10	27051,83

Tabulka 14 Investice a roční úspora [autor]

## 8.2 Prostá doba návratnosti

Doba, za kterou se nám určitá investice vrátí, je pochopitelně informací, která zajímá každého investora, bez ohledu na výši investovaných peněžních prostředků. Vedle dalších metod analýzy investic, je doba návratnosti také důležitým porovnávacím kritériem investičních projektů. Doba návratnosti se používá v několika variantách. V základní, prosté (zjednodušené) variantě se zpravidla definuje jako: doba (počet let), za kterou se peněžní příjmy z investice vyrovnají počátečním kapitálovým výdajům na investici. Jde o vyjádření tzv. prosté doby návratnosti. Tato forma vyjádření a stanovení doby návratnosti je nejjednodušší. Jeho použití si lze představit především pro rychlé orientační ocenění určité investiční příležitosti [16, 17]. Výpočet prosté doby návratnosti probíhá podle vzorce:

$$TN_p = \frac{IN}{CF}$$

IN...náklady na investici

CF...roční peněžní tok (roční příjem – úspora nákladů v důsledku investice).

Rok	Roční peněžní tok	Stav návratnosti investice	Stav návratnosti investice s vlivem dotace
t	CF	-318520	-192270
1	27051,83	-291468	-165218
2	27051,83	-264416	-138166
3	27051,83	-237365	-111115
4	27051,83	-210313	-84062,8
5	27051,83	-183261	-57010,9
6	27051,83	-156209	-29959,1
7	27051,83	-129157	-2907,28
8	27051,83	-102105	24144,55
9	27051,83	-75053,6	51196,38
10	27051,83	-48001,8	78248,22
11	27051,83	-20950	105300
12	27051,83	6101,88	132351,9

Tabulka 15 Finanční zhodnocení - prostá doba návratnosti [autor]

V tabulce můžeme vidět finanční návratnost nejdříve bez vlivu dotace z fondu Zelená úsporám a následně i s jejím podílem. Návratnost investice bez dotace (žlutá) je necelých 12 let a návratnost s dotací (zelená) se pohybuje kousek nad hranicí 7 let.

### 8.3 Diskontovaná doba návratnosti

Tato doba návratnosti je obdobná jako prostá doba návratnosti, ale lze říci, že je o něco složitější. Uvažuje totiž proměnnou hodnotou peněz v čase jednotlivých peněžních toků. Čím je doba návratnosti kratší, tím je investice hodnocena příznivěji. Výpočet je porovnáním diskontovaného CF, jeho následného ročního kumulování, s vloženou investicí [16, 17]. Tuto dobu návratnosti vypočítáme pomocí vzorce:

$$TN_{ds} = \frac{IN}{DCF}$$

kde IN jsou investiční, jednorázové náklady na realizaci úspor a DCF je diskontovaný peněžní tok, který odpovídá vzorci pro diskontovaný peněžní tok v roce t:

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^t}$$

Ten se skládá z podílu ročního peněžního toku a umocněného součtu diskontu s jedničkou na rok, ke kterému se DFC počítá [16, 17].

Diskont, tedy procento zhodnocení nebo úroková sazba, je procentuální zisk z finanční částky vložené do instituce s možností úrokového zhodnocení. S touto možností de facto porovnáváme zhodnocení částky námi vložené do realizace zateplení RD. Diskont volíme 1 % v ohledu na celkovou částku a dnešní možnosti úrokových sazeb.

rok	Diskontovaný peněžní tok	Stav návratnosti investice	Stav návratnosti investice s vlivem dotace
t	DCF	-318520	-192270
1	26783,99	-291736	-165486
2	26518,8	-265217	-138967
3	26256,24	-238961	-112711
4	25996,28	-212965	-86714,8
5	25738,89	-187226	-60975,9
6	25484,05	-161742	-35491,9
7	25231,73	-136510	-10260,1
8	24981,91	-111528	14721,79
9	24734,57	-86793,6	39456,36
10	24489,67	-62304	63946,03
11	24247,2	-38056,8	88193,23
12	24007,13	-14049,6	112200,4
13	23769,43	9719,794	135969,8

Tabulka 16 Finanční zhodnocení - diskontovaná doba návratnosti [autor]

Z tabulky stavu návratnosti (tabulka 16) můžeme vidět jasný vývoj situace a lze snadno určit kolik let budou trvat návratnosti s vlivem dotace i bez ní. S vlivem dotace jde o dobu necelých 7,5 let, bez dotace se doba protáhne na necelých 13 let, ale i tato návratnost je výhodná, neboť životnost dobře provedeného zateplení se pohybuje až kolem 50 let.

## 9 Technicko-ekonomická analýza optimalizace tloušťky izolace

Jedním z výstupů práce je program na výpočet ekonomické optimalizace druhu a tloušťky izolace v závislosti na ceně energie potřebné pro vytápění. Pro pochopení výpočtů, které jsme v programu potřebovali, jsme použili základními pojmy této problematiky, jako je součinitel tepelné vodivosti, součinitel prostupu tepla a další, se kterými jsme se již seznámili. K těmto pojmům si musíme doplnit ještě několik dalších, které jsou potřebné k vyhotovení optimalizace tloušťky izolace.

### 9.1 Tepelná ztráta prostupem tepla

Po získání koeficientu prostupu tepla můžeme vypočítat tepelnou ztrátu prostupem tepla stěnou objektu podle vzorce

$$Q_p = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)$$

Kde  $Q_0$  je součet ztrát prostupem tepla přes všechny stěny

$$Q_0 = \sum_j Q_{0,j}$$

$$Q_{0,j} = U_j \cdot S_j \cdot (t_{in} - t_{ext})$$

Kde  $U_j$  je součinitel prostupu tepla pro určitou vrstvu stěny

a  $S_j$  je plocha obálky pozorovaného objektu.

$t_{in}$  a  $t_{ext}$  jsou teploty v interiéru a exteriéru.

Pomocí těchto vztahů získáme ztráty prostupem tepla opět pro všechny druhy a tloušťky izolací [8].

Jelikož v této části řešíme pouze optimalizaci tloušťky tepelné izolace, uvažujeme, že ostatní tepelné ztráty se vlivem tepelné izolace nezmění, a proto pro naše účely stačí tepelná ztráta prostupem.

## 9.2 Potřeba tepla pro vytápění $Q_{vyt}$

Díky předešlému kroku můžeme uskutečnit výpočet pro zjištění potřebného tepla na vytápění vnitřních prostor na teplotu stanovenou v okrajových podmínkách, tedy 21 °C. Teplo potřebné k vytápění získáme pomocí vzorce

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_{es})} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

Kde součinitel  $\varepsilon$  je dán dle typu budovy a regulace vytápění během dne, s kontinuálním vytápěním nebo s přestávkami ve vytápění v průběhu dne. Náš objekt je rodinný dům s přestávkami ve vytápění a regulací termostatem, proto jsme pro  $\varepsilon$  volili hodnotu 0,765. Jako další máme ve vzorci účinnosti  $\eta_o$  a  $\eta_r$ , jde o účinnost regulace, resp. možnost regulace a účinnost rozvodu vytápění, pro obě volíme hodnotu 0,95 [8].

Do našeho  $Q_c$ , tedy celkových tepelných ztrát, započítáváme jen ztrátu prostupem tepla, neboť při optimalizaci tloušťky izolace uvažujeme, že všechny ostatní ztráty budou stejné a měnit se bude jen ztráta prostupem tepla vlivem instalované tepelné izolace a její variabilní tloušťkou. Dále je ve vzorci použita metoda denostupňů a opět rozdíl teploty v interiéru a exteriéru. Tento postup uplatníme na všechny hodnoty  $Q_p$ .

## 9.3 Izolační materiály

### 9.3.1 Expandovaný polystyren (EPS)

Jedná se o základní tepelnou izolaci pěnový polystyren bílé barvy, který se používá na kontaktní zateplení obvodových stěn budov.

Cena: 1254 Kč/m<sup>3</sup>

Základní tepelně technické vlastnosti:

Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,039 (W/m·K)

Faktor difuzního odporu ( $\mu$ ): 30 – 70

[24]

### 9.3.2 Expandovaný polystyren s grafitem (EPSC)

Jde o obdobný materiál, jako bílý EPS. Je do něj ale přidána přísada z grafitových nanočástic, čímž dojde ke zlepšení tepelně technických vlastností, sníží se sálavá složka přenosu tepla v materiálu. Pro odlišení je zpravidla šedý.

Cena: 1369,5 Kč/m<sup>3</sup>

Základní tepelně technické vlastnosti:

Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,032 (W/m·K)

Faktor difuzního odporu ( $\mu$ ): 20 – 40

[24]

### 9.3.3 Extrudovaný polystyren

Extrudovaný polystyren se používá především k izolaci podlah a soklů. Tento tvrzený polystyren se používá především v malých tloušťkách.

Cena: 3055 Kč/m<sup>3</sup>

Základní tepelně technické vlastnosti:

Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,033 (W/m·K)

Faktor difuzního odporu ( $\mu$ ): 180

[24]

### 9.3.4 Vata minerální

Vláknitá tepelně izolační deska nebo role se používá nejčastěji na zateplování dřevostaveb, kde je nutné umožnit větší průchod difuzní vlhkosti než u zděné stavby, aby zde nedocházelo ke kondenzaci. Jsou také hojně používány u staveb, kde je potřebné dodržení požárních předpisů, protože tato izolace je nehořlavá.

Cena: 2250 Kč/m<sup>3</sup>

Základní tepelně technické vlastnosti:

Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,04 (W/m·K)

Faktor difuzního odporu ( $\mu$ ): 1 – 2

[25]

### 9.3.5 Vata skelná

Její využití je téměř totožné s minerální vatou a tepelně technické vlastnosti ještě o kousek lepší.

Cena: 2280 Kč/m<sup>3</sup>

Základní tepelně technické vlastnosti:

Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,03 (W/m·K)

Faktor difuzního odporu ( $\mu$ ): 1

[25]



### 9.3.6 Polyuretanová izolace

Polyuretanová pěna se používá jako litá a stříkaná izolace přímo na stavbě nebo pro výrobu deskových materiálů. Používá se jako izolace střeš, podlah, stěn, případně jsou k sehnání i celostěnové panely.

Cena: 8987 Kč/m<sup>3</sup>

Základní tepelně technické vlastnosti:

Součinitel tepelné vodivosti ( $\lambda$ ): 0,021 (W/m·K)

Faktor difuzního odporu ( $\mu$ ): 80

[26]

## 9.4 Optimalizovaná tloušťka izolace

Ekonomicky ideální tloušťku izolace získáme pomocí vzorce

$$C = C_e * Q_{VYT,r} + C_{iz}$$

Kde  $C_{iz}$  je cena dané izolace za m<sup>2</sup> (určitý druh izolace a určitá tloušťka),

$C_e$  je jednotková cena za topné médium (v našem případě plyn) [12].

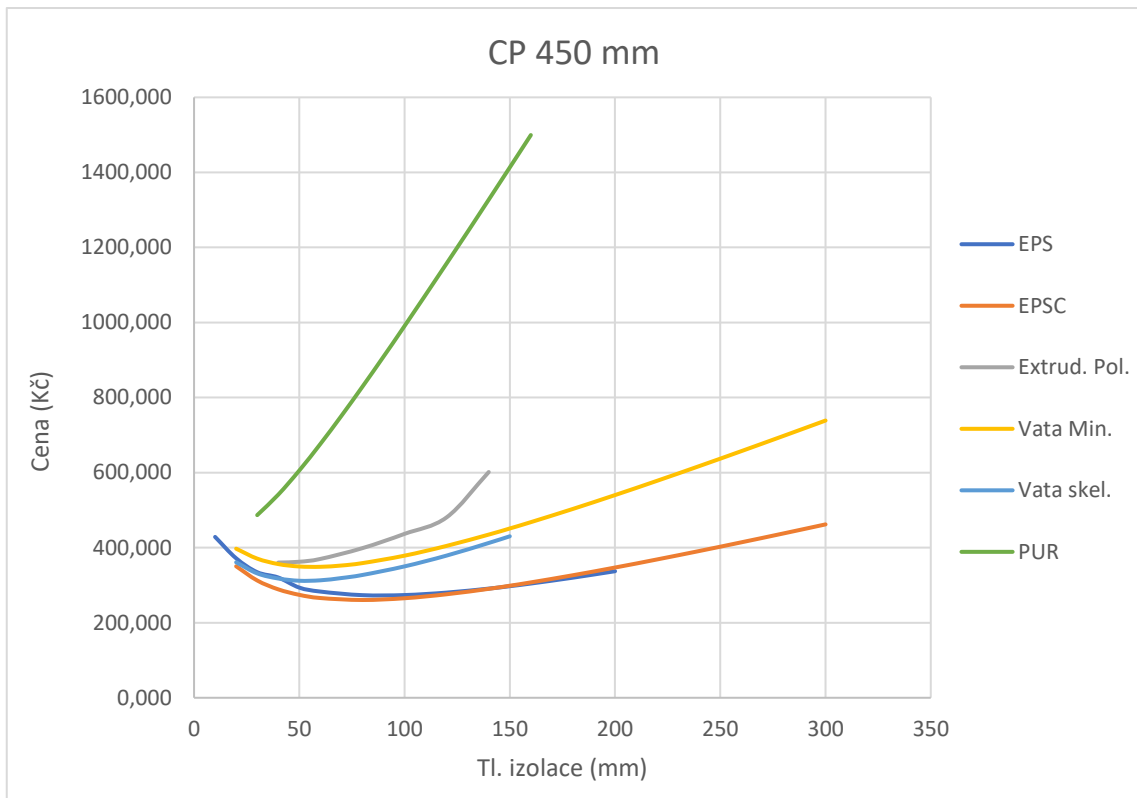
Vypočtená hodnota  $C$  stanovuje cenu, která zahrnuje částku za určitou tepelnou izolaci a teplo potřebné k dosažení vnitřních návrhových teplot, přepočtenou na m<sup>2</sup>, protože tepelné ztráty jsme nepočítali pro celou obálku, ale jen pro 1 m<sup>2</sup>.

Z těchto vypočtených hodnot najdeme minimum pro každý druh izolace, což je naše optimální tloušťka tepelné izolace daného druhu izolace.

Jako názorná ukázka optimalizace je vložena kompletní tabulka s celkovými cenami pro obě stěny složené z cihly plné 450 mm a 300 mm s grafy průběhy cen izolací v závislosti na jejich tloušťce.

Tl. izolace (mm)	Cihla plná 450 mm					
	EPS	EPSC	Extrud pol	Vata minerální	Vata skelná	PUR
10	428,666	-	-	-	-	-
20	371,666	350,363	-	397,330	361,001	-
30	334,580	312,543	-	370,816	331,460	486,657
40	320,465	288,888	360,278	356,273	317,824	541,205
50	293,551	274,276	362,388	349,793	311,822	605,640
60	282,969	265,763	369,917	349,002	312,998	676,328
70	-	-	-	352,375	319,011	751,203
80	273,381	260,569	398,729	358,886	327,185	829,035
90	-	-	-	-	-	909,026
100	273,709	265,198	436,745	378,670	350,112	990,652
110	-	-	-	-	-	-
120	280,232	275,789	480,768	404,685	378,901	1157,387
130	-	-	-	-	-	-
140	290,882	290,242	601,523	434,875	412,489	1327,351
150	297,348	298,578	-	451,127	430,314	-
160	304,421	307,434	-	467,999	-	1499,462
170	-	-	-	-	-	-
180	320,059	326,519	-	503,264	-	-
200	337,273	347,032	-	540,139	-	-
220	-	368,634	-	578,255	-	-
240	-	391,085	-	617,348	-	-
260	-	414,210	-	657,224	-	-
280	-	437,882	-	697,736	-	-
300	-	462,000	-	738,774	-	-
<b>celková cena na m2 při optimální tloušťce izolace</b>	273,381	260,569	360,278	349,002	311,822	486,657

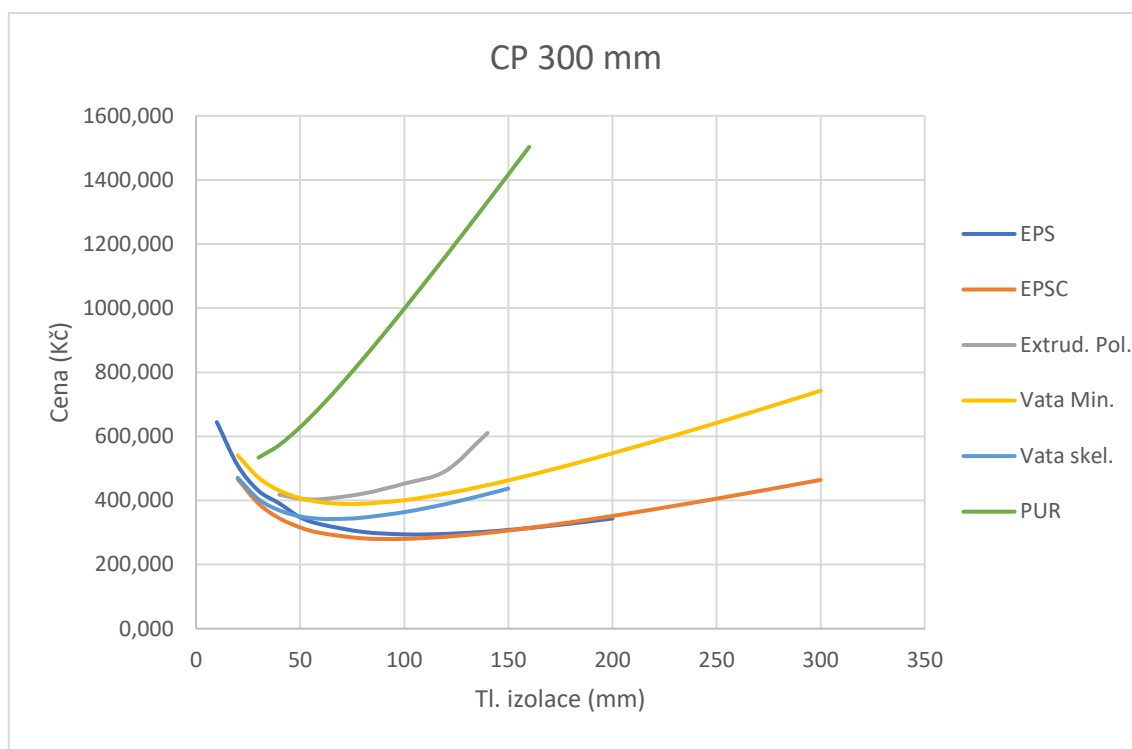
Tabulka 17 Technicko-ekonomická optimalizace tloušťky tepelné izolace (CP 450 mm) [autor]



Obrázek 17 Graf technicko-ekonomické optimalizace tloušťky tepelné izolace (CP 450 mm) [autor]

Tl. izolace (mm)	Cihla plná 300 mm					
	EPS	EPSC	Extrud pol	Vata minerální	Vata skelná	PUR
10	644,436	-	-	-	-	-
20	509,409	466,823	-	540,621	470,806	-
30	430,257	390,336	-	471,325	403,876	533,690
40	390,836	344,555	418,082	430,719	369,188	573,054
50	347,501	316,091	405,943	407,170	350,156	628,633
60	325,653	298,328	403,918	394,587	342,706	693,708
70	-	-	-	389,469	342,712	764,802
80	302,025	281,928	421,107	389,662	346,534	839,965
90	-	-	-	-	-	918,003
100	294,260	280,282	452,586	400,843	363,711	998,156
110	-	-	-	-	-	-
120	295,693	287,007	492,569	421,419	388,979	1162,855
130	-	-	-	-	-	-
140	302,936	298,911	610,655	447,953	420,257	1331,513
150	308,106	306,287	-	462,811	437,214	-
160	314,082	314,334	-	478,501	-	1502,736
170	-	-	-	-	-	-
180	327,975	332,141	-	511,882	-	-
200	343,877	351,701	-	547,339	-	-
220	-	372,573	-	584,360	-	-
240	-	394,453	-	622,590	-	-
260	-	417,123	-	661,774	-	-
280	-	440,426	-	701,723	-	-
300	-	464,241	-	742,295	-	-
<b>celková cena na m2 při optimální tloušťce izolace</b>	294,260	280,282	403,918	389,469	342,706	533,690

Tabulka 18 Technicko-ekonomická optimalizace tloušťky tepelné izolace (CP 300 mm) [autor]



Obrázek 18 Graf technicko-ekonomické optimalizace tloušťky tepelné izolace (CP 300 mm) [autor]

## 9.5 Vyhodnocení optimalizace

Vyhodnocením hodnot z tabulek a grafů pro oba dva typy stěny získáme jako nejoptimálnější variantu tepelné izolace Expandovaný polystyren s přidáním grafitem o tloušťce 80 mm pro stěnu s CP 450 mm a pro stěnu s CP 300 mm vyšla nejoptimálnější tloušťka tepelné izolace 100 mm. Vzhledem k rozdílné optimální tloušťce tepelné izolace pro dva typy stěny v rámci jednoho objektu je vhodné zvolit jednotnou tloušťku tepelné izolace pro jednoduchost instalace tepelné izolace a estetický dojem. Jako jednotnou tloušťku tepelné izolace je tedy vhodné zvolit 80 mm. Po ekonomické stránce nás zvolení menší tloušťky tepelné izolace pro stěnu s CP 300 mm nijak zásadně neovlivní, protože z vyhotoveného programu je zřejmé, že vypočtená cena za izolaci a potřebné teplo je rozdílná o necelé 2 Kč na m<sup>2</sup>. Kdybychom chtěli použít naopak pro oba dva typy 100 mm izolaci jedná se o rozdíl přibližně 5 Kč na m<sup>2</sup>, musíme ale vzít v potaz, že tato tloušťka je méně hospodárná pro typ stěny s CP 450 mm, která zaujímá větší část pláště domu.

Při použití vyhodnoceného druhu a tloušťky tepelné izolace dosáhneme nejehospodárnějšího řešení, neboť při větších tloušťkách izolace již nedochází k takové úspoře tepla, ale naopak značně roste cena izolace. Při instalaci této varianty dosáhneme požadované hodnoty součinitele prostupu tepla pro vnější stěny ( $U = 0,3$

$W/m^2 \cdot K$ ), který je dán normou ČSN 73 0540:2011. Pokud bychom chtěli dosáhnout doporučené hodnoty ( $U = 0,25 W/m^2 \cdot K$ ), bylo by potřeba instalovat tuto izolaci o větší tloušťce a to 120 mm. Splnění této doporučené normy je podmínkou k udělení dotace z fondu Zelené úsporám, což je důvod, z kterého byla na rodinný dům, který posuzujeme v této práci, instalována tepelná izolace o tloušťce 120 mm [22].

## 10 Vlastní přínos zateplení RD

Reálná roční spotřeba plynu se v průměru pohybuje okolo 11 MWh/rok pouze za vytápění, tedy o 5,5 MWh/rok méně v porovnání s vypočtenými 16,5 MWh/rok. Vypočtená úspora spotřeby plynu po zateplení rodinného domu je 55,99 %, reálná úspora spotřeby plynu je přibližně stejná, neboť reálná spotřeba plynu před zateplením je také nižší než vypočtená spotřeba.

Před rekonstrukcí objektu byl v některých místech problém s výskytem plísní, docházelo také k provlhání stěn, difuzí ale i dešťovými srážkami, po kterých se objevovaly vlhké skvrny. Nyní, po rekonstrukci a realizaci zateplení objektu, jsme se těchto problémů definitivně zbavili.

# 11 Závěr

Hlavními cíli zateplení objektu byla budoucí úspora spotřeby plynu na vytápění RD, zabránění tvorby plísní z kondenzace vnitřní vlhkosti na stěnách a posílení a rekonstrukce obvodového pláště budovy, proti provlhnutí stěn vlivem dešťových srážek. Díky kvalitně provedenému zateplení expandovaným polystyrenem s grafitem dochází ve stěně k minimálnímu poklesu teplot z důvodu vysokého tepelného odporu izolační vrstvy, a tak se podařilo dosáhnout všech těchto cílů. Úspora tepla po zateplení činí zhruba 50 % a zkondenzované vlhkosti se nám podařilo z velké části úplně zbavit anebo alespoň přiblížit nule, tedy na množství, které je schopné se vypařit. Za pomoci dotace ze Státního fondu životního prostředí České republiky dojde k brzké návratnosti počáteční investice.

Díky provedené technicko-ekonomické analýze optimalizace druhu a tloušťky tepelné izolace můžeme říci, že zateplení je z pohledu nejehospodárnější tloušťky tepelné izolace předdimenzované, jelikož jsme zjistili, že nejehospodárnější tloušťka této izolace je 80 mm pro stěnu s CP 450 mm a 100 mm pro stěnu s CP 300 mm.

Pro splnění podmínek k získání dotace z fondu Zelená úsporám ale bylo nutné dosáhnout doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla a proto byla instalována izolace 120 mm.

Přes to, že jsme vyhodnotili realizovanou tepelnou izolaci jako předdimenzovanou a tím pádem tedy i finančně náročnější, můžeme říci, že je investice do zateplení výhodná a díky splněným podmínkám k získání dotace se může pyšnit rychlou dobou návratnosti. Při správné instalaci tepelné izolace jde o velmi bezpečný vklad do opatření generující budoucí a dlouhodobé úspory.



## 12 Seznam použité literatury

- [1] Technická zpráva k projektové dokumentaci. 2010.
- [2] ŠUBRT, R.: Zateplování. Brno: ERA group, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7366-138-0.
- [3] VLČEK, M., BENEŠ P.: Zateplování staveb. Brno: CERM, s.r.o., 2000. ISBN 807204-164-9.
- [4] Tzbinfo.cz: Stavba. Tepelný odpor R [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
- [5] Tzbinfo.cz: Stavba. Součinitel prostupu tepla [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [6] ČSN 73 0540:2007. Tepelná ochrana budov.
- [7] ČSN 06 0210:2008. Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění.
- [8] Tzbinfo.cz: Vytápění. Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210 [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-ztraty-objektu-dle-csn-06-0210>
- [9] Tzbinfo.cz: Stavba. Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestvrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [10] Tzbinfo.cz: Stavba. Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny [online]. 2010 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>
- [11] Izolace-info.cz: Poradenství, články. Fyzikální veličiny [online]. 2013 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/fyzikalni-veliciny/?nid=9527-paropropustnost-difuze-a-kondenzace-vodni-pary-i-cast.html#.WTT4IWjyiM8>

- [12] PROKOP J.: Tepelné izolace v tepelné technice. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 1992. ISBN 80-01-00888-6.
- [13] Tzbinfo.cz: Energetika. Spotřeba tepla a denostupně [online]. 2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/15468-spotreba-tepla-a-denostupne>
- [14] 4construction.com: Úspory paliv, energie a vody, [online]. 2010 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/rocní-spotreba-tepla-denostupne/>
- [15] Tzbinfo.cz: Vytápění. Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody?\\_d19\\_=3452.6](http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody?_d19_=3452.6)
- [16] KORYTÁROVÁ, J.: Ekonomika investic. Brno, 2006.
- [17] Estav.cz: Ekonomická návratnost zateplení. [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/ekonomicka-navratnost-zatepleni>
- [18] Estav.cz: Ekonomická návratnost zateplení. Jak vyhodnotit přínosy a návratnost zateplení domu [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/4745.jak-vyhodnotit-prinosy-a-navratnost-zatepleni-domu-cile>
- [19] fast10.svb.cz: Stavebně fyzikální problematika. [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://fast10.svb.cz/studijni-materialy/ps4/4.html>
- [20] SVOBODA, Z.: Volně šiřitelný program Teplo 2017 EDU [online]. 2017 [cit. 2018-04-03]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=369>
- [21] KALČÍK, J., SÝKORA, K. Technická termomechanika. Praha: Academia, 1973
- [22] ČSN 73 0540-2:2011. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.
- [23] Izolace-info.cz: Aktuality. Faktor difuzního odporu [online]. 03.01.2018 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [https://www.isolace-info.cz/aktuality/?nid=21467-faktor-difuzniho-odporu-a-ekvivalentni-difuzni-tloustka.html#.WxTTEUiFOM\\_](https://www.isolace-info.cz/aktuality/?nid=21467-faktor-difuzniho-odporu-a-ekvivalentni-difuzni-tloustka.html#.WxTTEUiFOM_)

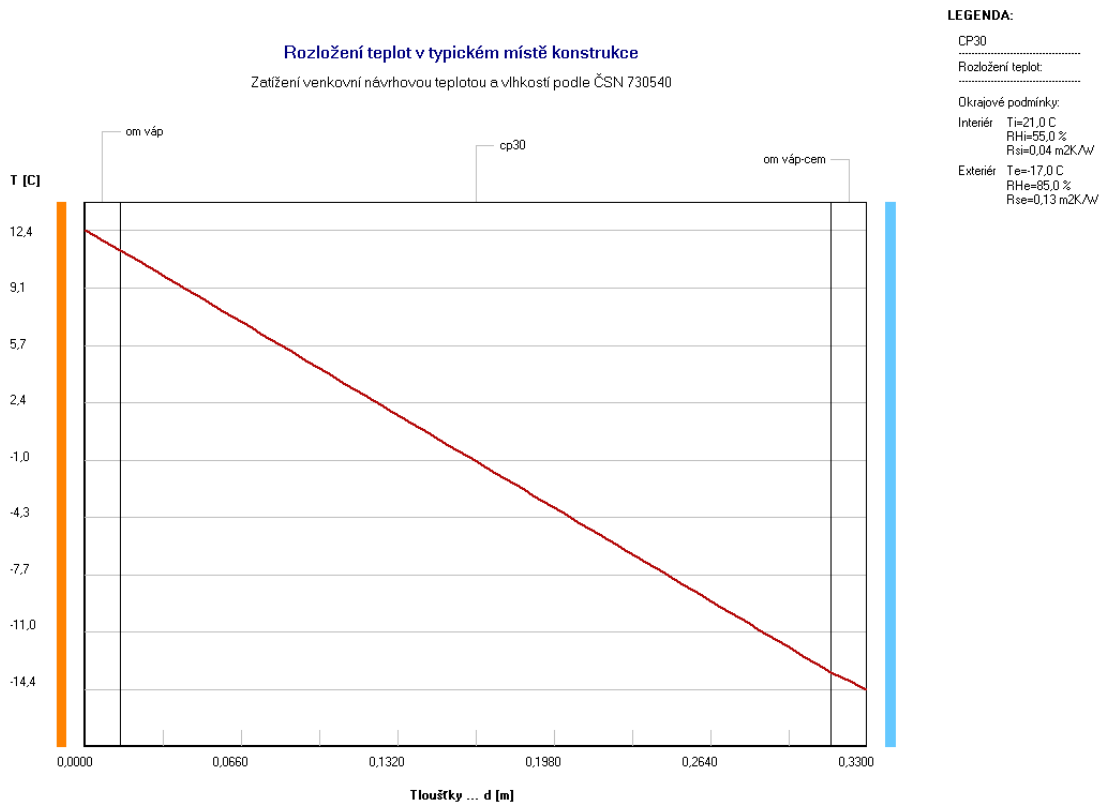
[24] Tzbinfo.cz: Stavba. Tepelné izolace. Polystyrenové izolace [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/297-polystyrenove-izolace>

[25] Tzbinfo.cz: Stavba. Tepelné izolace. Minerální izolace [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>

[26] Tzbinfo.cz: Stavba. Tepelné izolace. Izolace PUR, PIR a fenolická pěna [online]. [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/299-izolace-pur-pir-a-fenolicka-pena>

# 13 Přílohy

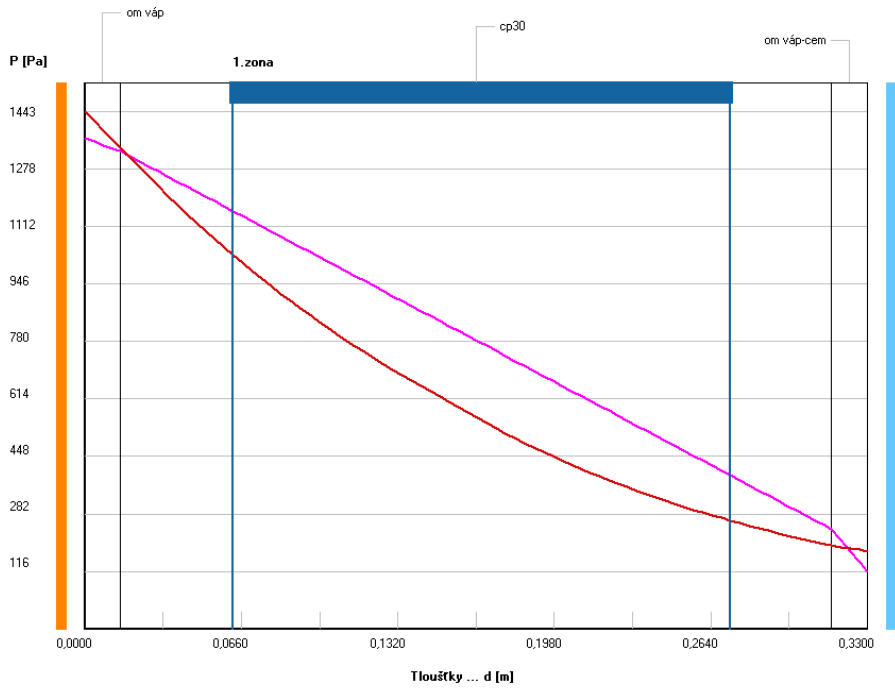
Grafy všech typů stěn posuzovaného objektu.



Obrázek 19 Průběh teplot - stěna 330 mm

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



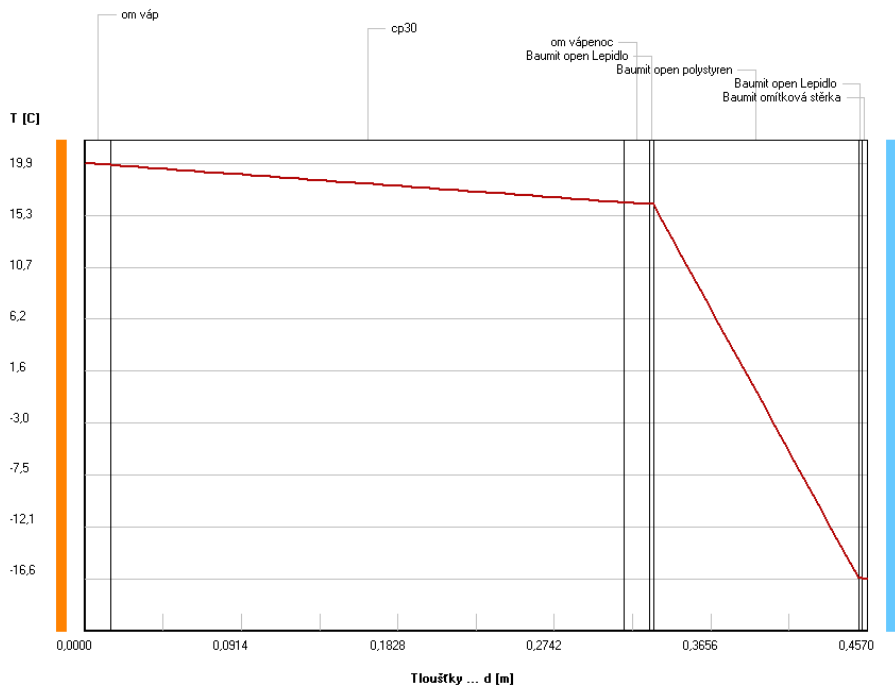
#### LEGENDA:

- CP30
- Rozložení tlaků:
- Okrajové podmínky:
- Interiér 21,0 C
- 55,0 %
- Exteriér -17,0 C
- 85,0 %
- nasyc. tlak v.p.
- teoret. tlak v.p.
- skut. tlak v.p.
- kond. zóna

Obrázek 20 Průběh parciálních tlaků - stěna 330 mm

### Rozložení teplot v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



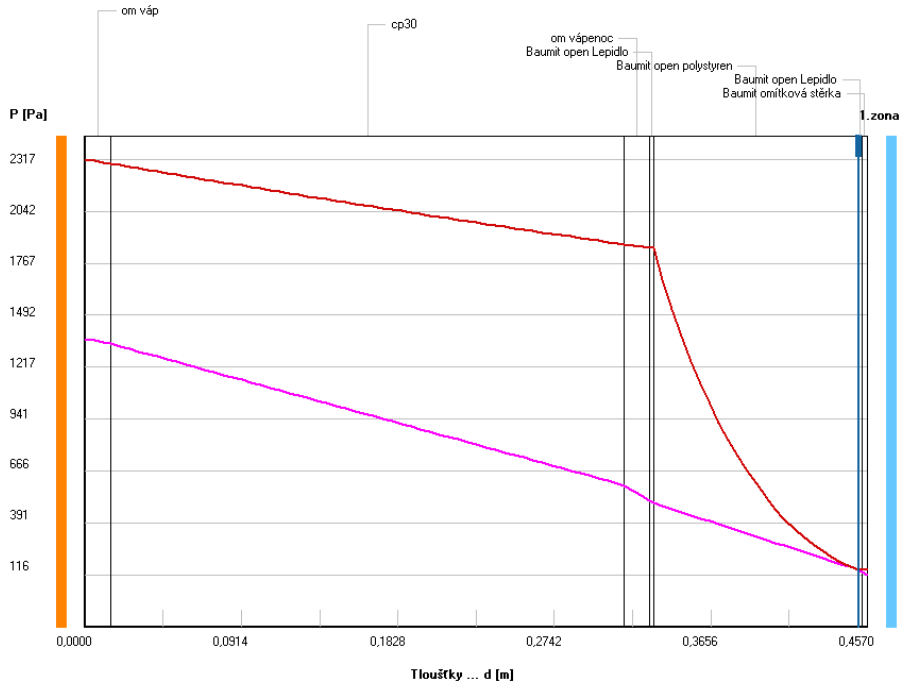
#### LEGENDA:

- CP30 + IZOL
- Rozložení teplot:
- Okrajové podmínky:
- Interiér Ti=21,0 C
- RHi=55,0 %
- Rsi=0,13 m<sup>2</sup>K/W
- Exteriér Te=-17,0 C
- RHe=85,0 %
- Rse=0,04 m<sup>2</sup>K/W

Obrázek 21 Průběh teplot - stěna 330 mm + EPSC

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



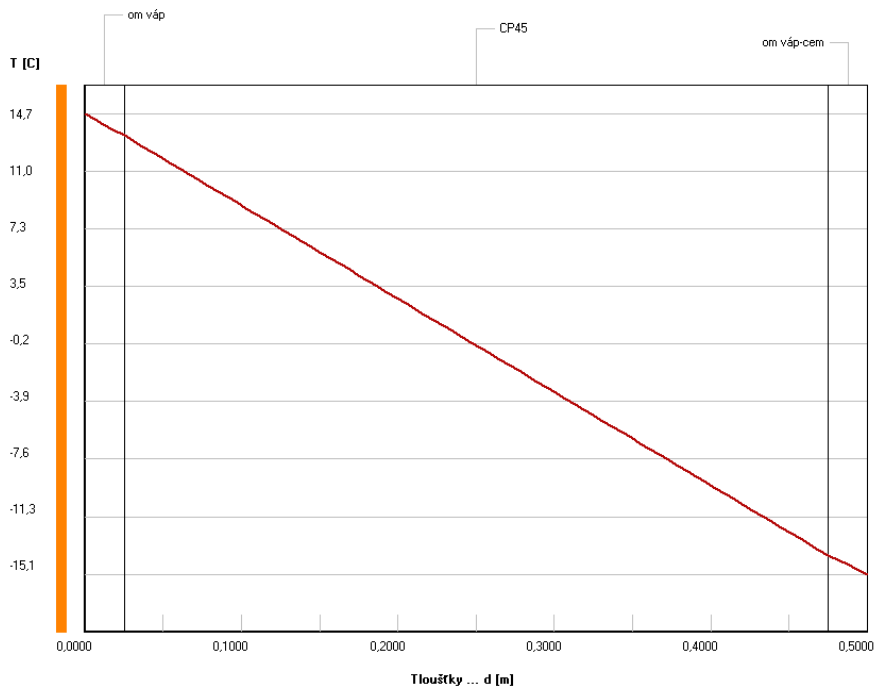
#### LEGENDA:

- CP30 + IZDL
- Rozložení tlaků:
- Okrajové podmínky:  
 Interiér 21,0 C  
 55,0 %  
 Exteriér -17,0 C  
 85,0 %
- nasyc. tlak v.p.  
 — teoret. tlak v.p.  
 — skut. tlak v.p.  
 — kond. zóna

Obrázek 22 Průběh parciálních tlaků - stěna 330 mm + EPSC

### Rozložení teplot v typickém místě konstrukce

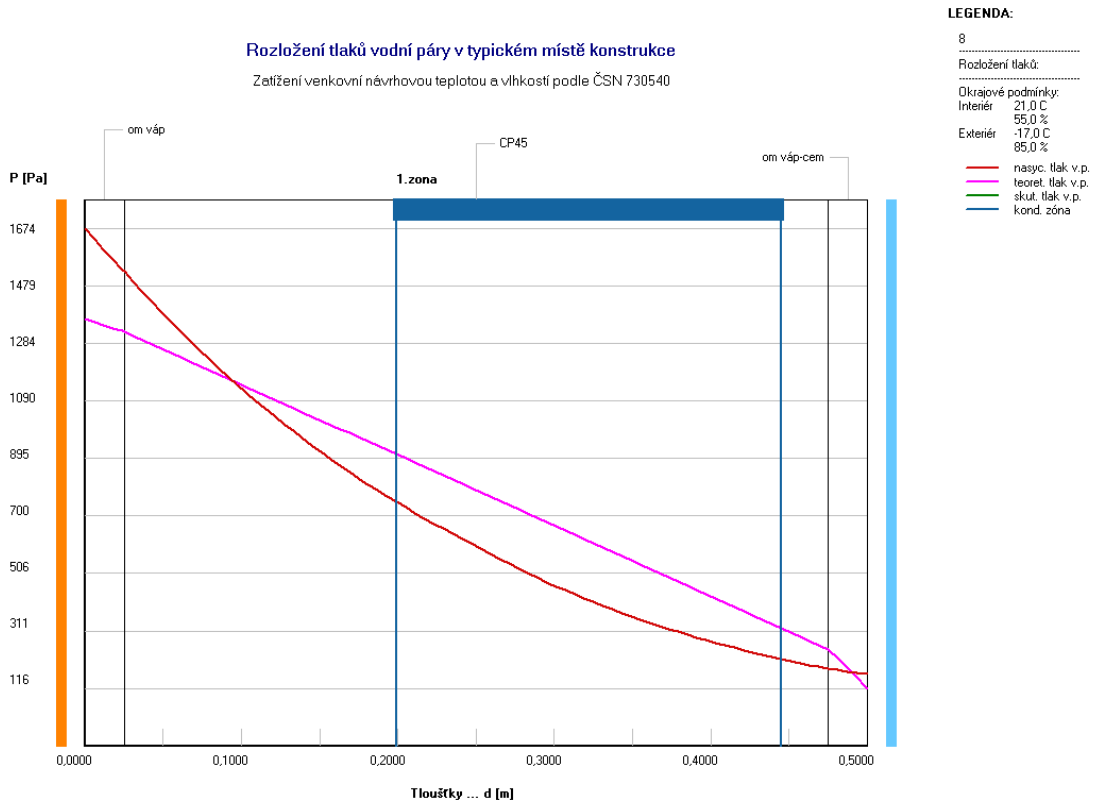
Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



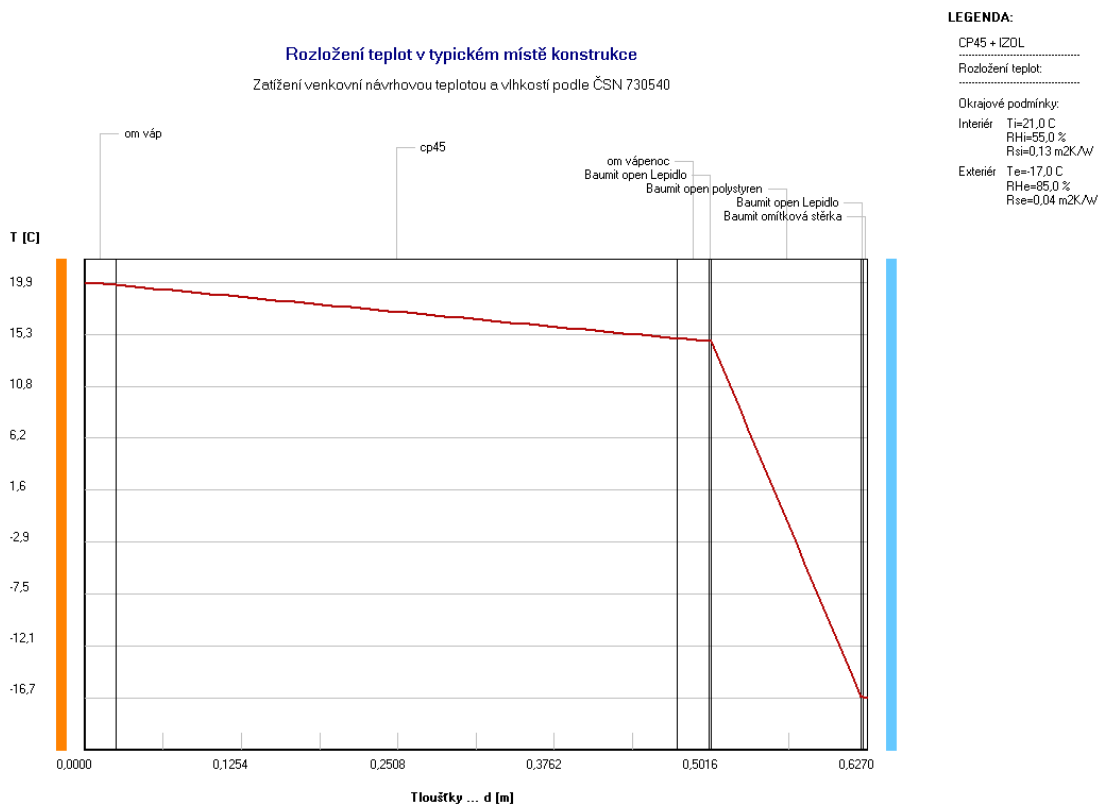
#### LEGENDA:

- 8
- Rozložení teplot:
- Okrajové podmínky:  
 Interiér Ti=21,0 C  
 RH=55,0 %  
 Rsi=0,04 m2K/W  
 Exteriér Te=-17,0 C  
 RH=85,0 %  
 Rse=0,13 m2K/W

Obrázek 23 Průběh teplot - stěna 500 mm



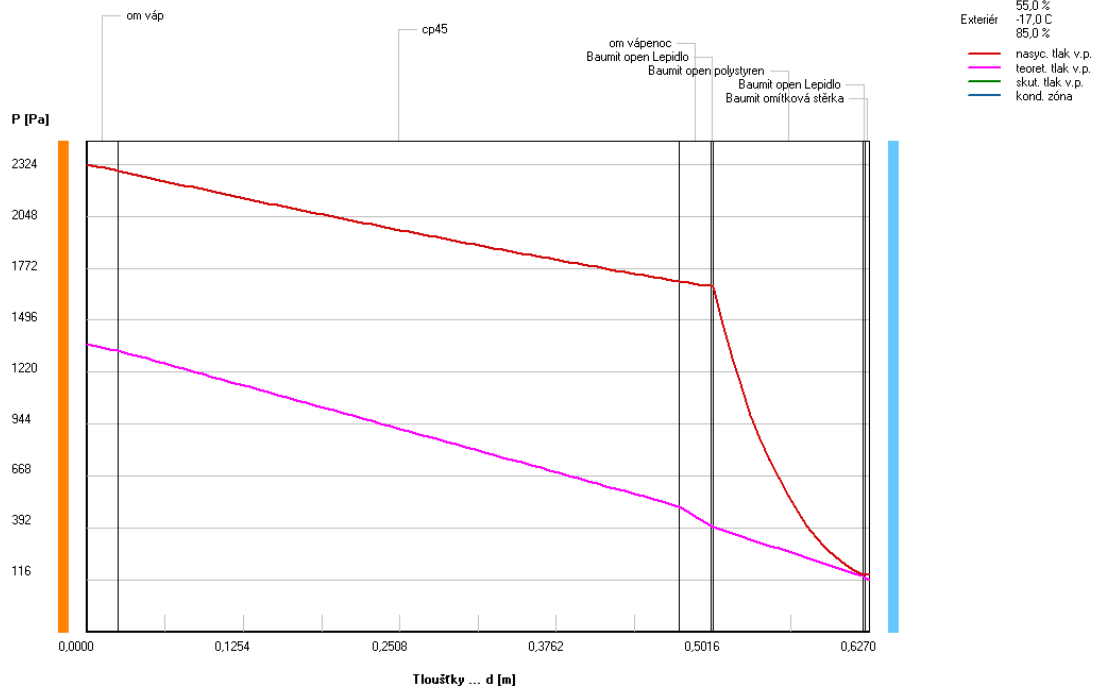
Obrázek 24 Průběh parciálních tlaků - stěna 500 mm



Obrázek 25 Průběh teplot - stěna 500 mm + EPSC

### Rozložení tlaků vodní páry v typickém místě konstrukce

Zatížení venkovní návrhovou teplotou a vlhkostí podle ČSN 730540



Obrázek 26 Průběh parciálních tlaků - stěna 500 mm + EPSC