



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VLIV TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI OBÁLKY BUDOVY NA JEJÍ ENERGETICKOU NÁROČNOST

INFLUENCE OF THERMAL INSULATION PROPERTIES OF BUILDING ENVELOPE ON ITS
ENERGY CONSUMPTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Eliáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK,
CSc.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Filip Eliáš
Název	Vliv tepelně izolační vlastnosti obálky budovy na její energetickou náročnost
Vedoucí práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, JAGA Bratislava 1998
Firemní literatura k zateplovacím systémům, firemní literatura k výplním otvorů
Vyhláška č. 230/2015 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

ČSN 730540, Tepelná ochrana budov, UNMZ 2011

Firemní literatura ohledně tepelně-izolačních materiálů

Davies, Morris, G., Building Heat Transfer, John Wiley 2004

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Energetická náročnost budov se v současné době posuzuje různými kritérii, jež jsou navázány jak na materiálovou koncepci stavby, tak na její geometrické uspořádání. Metodiky výpočtového odhadu spotřeby energie vychází z metodik, jež pracují s tepelně-izolační schopností pláště posuzované budovy.

Jak známo, uvedené hodnoty bezprostředně nerespektují zcela reálnou spotřebu energie. Tomu těsněji odpovídá údaj ze simulačních výpočtů v rámci referenčního klimatického roku.

V této souvislosti proveďte:

- i) Přehled používaných zateplovacích technologií ve stavebnictví,
- ii) Studium zvoleného technologického postupu, který využívá tepelně izolační vlastnosti novodobých stavebních izolantů,
- iii) Tepelně-technické posouzení vybraného stavebního objektu z hlediska energetické náročnosti a sestavení způsobů pro zlepšení izolačnosti pláště budovy,
- iv) Zhodnocení ekonomického a ekologického přínosu, také proveditelnosti vybraných opatření zlepšující tepelně izolační vlastnosti obálky budovy,
- v) Selekce optimální varianty zateplení pro vybraný objekt, zdůvodnění souvisejících opatření pro realizaci a posouzení objektu z hlediska potenciálu úspory energetické náročnosti po realizaci.
- vi) Sestavte ekonomický odhad potřebné výše investice a doby návratnosti podle úrovně dosažených energetických úspor.

Při vypracování diplomové práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno; praktická část nad 50 % rozsahu; celkový rozsah do 70 stran včetně tabulek a grafů.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá možnostmi zateplení rodinného domu a optimalizací volby izolačních materiálů zejména na základě ekonomických a ekologických faktorů. V práci jsou popsány základní fyzikální jevy, které souvisí s prostupem tepla a které je třeba při návrhu zateplení respektovat. Tyto jevy ovlivňují výběr vhodných izolačních materiálů v závislosti na jejich vlastnostech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spotřeba energie, tepelná izolace, energie, součinitel prostupu tepla, obálka budovy, optimalizace, energetická úspora, ekologie

ABSTRACT

This diploma thesis describes possibilities of thermal insulation of a detached house and choice optimization of insulating materials especially based on economic and ecologic factors. The thesis describes basic physical effects that are associated with heat transfer and that should be respected in insulation design. These effects influence the choice of suitable insulating materials based on their properties.

KEYWORDS

Energy consumption, thermal insulation, energy, heat transfer coefficient, building envelope, optimization, energy saving, ecology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Filip Eliáš *Vliv tepelně izolační vlastnosti obálky budovy na její energetickou náročnost*. Brno, 2018. 96 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2018

Bc. Filip Eliáš
autor práce

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat své rodině za podporu a motivaci během studia. Můj dík patří také vedoucímu této diplomové práce, panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovi, CSc., za odborné vedení, užitečné rady, věcné připomínky a ochotu, s jakou přistupoval ke konzultacím.

1. ÚVOD.....	10
2. ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ JEVY A VELIČINY.....	12
2.1. Prostup tepla obálkou budovy.....	12
2.1.1. Principy šíření tepla.....	12
2.1.1.1. Šíření tepla vedením (kondukcí)	12
2.1.1.2. Šíření tepla prouděním (konvekci)	13
2.1.1.3. Šíření tepla sáláním (radiací)	14
2.1.2. Metodika stanovení tepelně izolační vlastnosti stavební konstrukce.....	16
2.2. Difuze vodní páry.....	18
2.3. Tepelná akumulace	22
2.3.1. Plošná tepelná kapacita	22
2.3.2. Relaxační doba	23
2.3.3. Tepelná jímavost.....	24
3. TEPELNÉ IZOLANTY A ZATEPLOVACÍ TECHNOLOGIE	25
3.1. Materiály používané jako tepelné izolanty.....	25
3.1.1. Přírodní izolace	25
3.1.1.1. Konopí	25
3.1.1.2. Celulóza.....	26
3.1.1.3. Dřevovláknité izolace	27
3.1.2. Nerostné izolace	28
3.1.2.1. Minerální vlna	28
3.1.3 Pěnové izolace.....	29
3.1.3.1. Expandovaný polystyren	29
3.1.3.2. Extrudovaný polystyren.....	31
3.1.3.3. Pěnový polyuretan a polyizokyanurát.....	32
3.1.3.4. Pěnové sklo	33
3.1.4. Vakuové izolace	34
3.2. Zateplovací technologie	36
3.2.1. Podlahy	36
3.2.2. Obvodové stěny	37
3.2.3. Stropy	39
3.2.4. Střechy.....	40
3.2.5. Výplně otvorů	41
4. NOVODOBÉ STAVEBNÍ IZOLANTY	44
5. TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VYBRANÉHO STAVEBNÍHO OBJEKTU.....	46
5.1. Popis stavební části hodnoceného objektu	47

5.2. Stanovení součinitele prostupu tepla obálkových konstrukcí.....	50
5.3. Popis provozní a TZB části hodnoceného objektu	51
5.4. Vypočtené hodnoty původního stavu budovy.....	53
5.5. Návrh opatření pro zlepšení energetické náročnosti objektu.....	55
5.5.1. Podlahy.....	56
5.5.1.1. Podlaha na zemině	56
5.5.1.2. Podlaha nad nevytápěným sklepem	56
5.5.2. Strop	57
5.5.3. Obvodové stěny	57
5.5.4. Výplně otvorů.....	58
6. ZHODNOCENÍ VYBRANÝCH OPATŘENÍ	59
6.1. Podlahy	59
6.1.1. Podlaha na zemině	59
6.1.2. Podlaha nad sklepem.....	63
6.2. Strop.....	66
6.3. Obvodové stěny.....	69
6.4. Výplně otvorů.....	73
6.5. Zhodnocení úspor jednotlivých opatření	77
7. SELEKCE NÁVRHU OPATŘENÍ POMOCÍ VÍCEKRITÉRIÁLNÍHO PÁROVÉHO SROVNÁNÍ	79
7.1. Podlaha na zemině.....	83
7.2. Podlaha nad sklepem	84
7.3. Strop.....	85
7.4. Obvodové stěny.....	86
7.5. Výplně otvorů.....	87
8. VÝSLEDNÁ VARIANTA NÁVRHU ZATEPLENÍ BUDOVY	88
9. ZÁVĚR	91
10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	93
10.1. Seznam obrázků.....	93
10.2. Seznam tabulek.....	93
11. POUŽITÉ PODKLADY A LITERATURA	95

1. ÚVOD

Česká republika, jakožto středoevropská země, leží v mírném podnebném pásmu na rozhraní oceánského podnebí (malé rozdíly mezi teplotami v zimě a v létě) a kontinentálního podnebí (výrazné rozdíly mezi teplotami v zimě a v létě). V důsledku těchto skutečností se mohou vnější teploty v průběhu roku pohybovat v relativně širokém rozmezí. V závislosti na průměrných měsíčních teplotách se tak výrazně liší spotřeba energií na úpravu vnitřního prostředí budov. V zimních měsících je nejvýraznější složkou spotřebované energie v budově energie potřebná na vytápění, naopak v letních měsících může být významnou složkou energie potřebná na chlazení v případě, že jsou v objektu instalována klimatizační zařízení. Další složky energie spotřebované v budově (energie potřebná pro přípravu teplé vody, elektrická energie potřebná na umělé osvětlení budovy, energie potřebná pro chod elektrospotřebičů a případně další složky energie) nejsou tak výrazně ovlivněny vnějšími atmosférickými podmínkami a jejich výše je méně závislá na ročním období. V této diplomové práci je pro účely výpočtů tedy uvažováno pouze s úsporou energie na vytápění, která bývá u většiny rodinných domů nejvýraznější složkou spotřebované energie.

Úspora spotřebované energie na vytápění budovy má přínos jak ekonomický, tak ekologický. Zatímco pro samotného uživatele budovy, jakožto investora do úsporných opatření, je podstatná zejména finanční úspora, ekologický přínos snižování energetické náročnosti budov nemůže být vzhledem k negativním jevům souvisejících s výrobou tepla (zejména emise skleníkových plynů, vyčerpání zásob fosilních paliv, kvalita ovzduší v městských a venkovských zástavbách apod.) zanedbán. Vzhledem k relativně vysokým nákladům na investice do opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti budov existují dotační programy Ministerstva životního prostředí (v současné době například program Nová zelená úsporám), které částečně tyto investice pokrývají a motivují tak uživatele budov k realizaci úsporných opatření. Nezanedbatelnou výhodou spojenou s prováděním úsporných opatření v budově je zvýšení její tržní ceny. Za nemovitost, která projde rekonstrukcí vedoucí k nižší energetické náročnosti budovy, utrží majitel při případném prodeji vyšší částku než za nemovitost nezrekonstruovanou.

Snížení energetické náročnosti budovy může být dosaženo vícero způsoby. Mezi nejznámější patří zlepšení tepelně izolační vlastnosti obálky budovy. Opatření

vedoucí ke zlepšení tepelné izolačnosti budovy patří mezi nejrozšířenější a nejúčinnější, ale na druhou stranu také mezi finančně nejnákladnější. Dalšími možnostmi snižování energetické náročnosti budovy mohou být opatření související s technickým zařízením budovy. Namátkou lze vybrat instalaci zdroje tepla s vysokou účinností (např. kondenzační plynový kotel nebo tepelné čerpadlo), instalaci zařízení využívající sluneční energii (např. fotovoltaické články vyrábějící elektrickou energii nebo solární kolektory sloužící k přípravě teplé vody) nebo opatření vedoucí ke snížení spotřeby elektrické energie (např. výměna žárovkového osvětlení za úspornější LED svítidla nebo výměna stávajících elektrospotřebičů za účinnější). V rámci této diplomové práce jsou uvažována pouze úsporná opatření související s geometrickým uspořádáním stavby a materiálovou koncepcí jejich dílčích konstrukcí. Konkrétně se tedy jedná o zateplení konstrukcí na rozhraní vytápěného prostoru a exteriéru (v případě zateplení stropní konstrukce mezi vytápěným a nevytápěným prostorem) a výměnu stávajících výplní otvorů za nové s lepší tepelně izolační vlastností.

Diplomová práce je členěna na část teoretickou (kapitoly 2-4) a část praktickou (kapitoly 5-8). Teoretická část se v kapitole 2 věnuje základním fyzikálním jevům a veličinám, které úzce souvisí s prostupem tepla. Kapitola 3 je věnována přehledu současně používaných izolačních materiálů a zateplovacích technologií ve stavebnictví. Dále je v kapitole 4 podrobně popsán technologický postup, který využívá tepelně izolační vlastnosti novodobých stavebních izolantů, konkrétně šedého expandovaného polystyrenu. V praktické části je nejprve v kapitole 5 popsáno tepelně technické posouzení vybraného stavebního objektu z hlediska energetické náročnosti a je sestaveno několik opatření pro zlepšení izolačnosti obálky budovy. V kapitole 6 je pak zhodnocena proveditelnost, ekonomický a ekologický přínos vybraných opatření, která zlepšují tepelně izolační vlastnost obálky budovy. V kapitole 7 je metodou vícekriteriálního párového srovnání provedena selekce optimální varianty zateplení pro vybraný objekt skládající se z několika opatření, dále pak zdůvodnění souvisejících opatření pro realizaci a následné posouzení objektu z hlediska potenciálu úspory energetické náročnosti po realizaci. V kapitole 8 je pak sestaven ekonomický odhad potřebné výše investice, stanovení energetických a finančních úspor a doby návratnosti podle úrovně dosažených těchto úspor a je zde také zhodnoceno snížení produkce CO₂ po realizaci vybraných opatření.

TEORETICKÁ ČÁST

2. ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ JEVY A VELIČINY

Nejdůležitějším a z hlediska posuzování energetické náročnosti budov v podstatě jediným fyzikálním jevem, který popisuje chování budovy z hlediska energetické náročnosti, je prostup tepla obálkou budovy. Při projektování nových budov nebo při navrhování opatření, jež vedou ke zlepšování tepelně izolační vlastnosti stávajících konstrukcí, je však nutno zohlednit i jiné fyzikální jevy. Mezi ty patří zejména difuze vodní páry a tepelná akumulace stavebních konstrukcí.

2.1. Prostup tepla obálkou budovy

Ztráta tepla ve vytápěných budovách je dána prostupem tepla obálkou budovy a tepelnou ztrátou větráním. Omezení ztráty prostupem tepla vede k podstatnému snížení energetické náročnosti budovy a pro navrhování a výrobu tepelně izolačních materiálů je nutno chápat základní fyzikální principy, jakými výměna tepla probíhá.

2.1.1. Principy šíření tepla

Obecně se teplo šíří v jakémkoli prostředí a na základě 1. termodynamického zákona platí, že teplo přechází z místa s vyšší teplotou do místa s nižší teplotou. V závislosti na prostředí, kde přenos tepelné energie probíhá, se rozlišuje šíření tepla

- vedením (kondukcí),
- prouděním (konvekcí),
- sáláním (radiací).

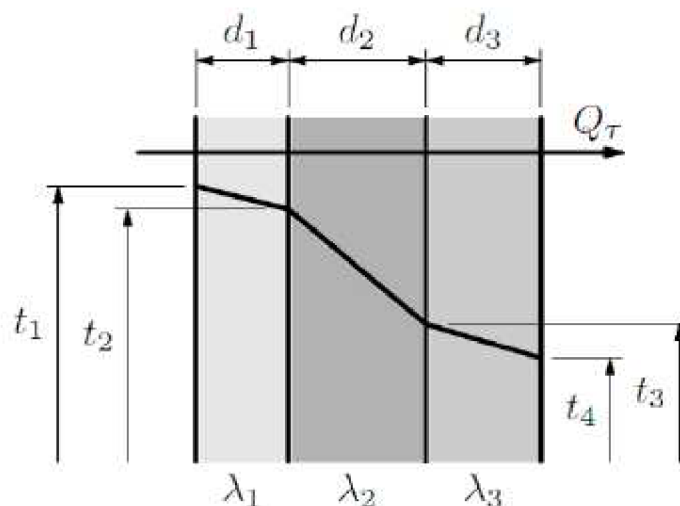
Reálně neprobíhá výměna tepla pouze jedním z těchto způsobů, ale zpravidla jejich různou kombinací.

2.1.1.1. Šíření tepla vedením (kondukcí)

Vedení tepla probíhá jak v tuhých látkách, tak i v kapalinách a plynech. Výměna tepla skrze stavební konstrukci probíhá zejména vedením. V případě, že konstrukce rozděluje teplejší a chladnější prostředí (existuje tedy teplotní pole), dochází k tomu, že molekuly teplejšího vzduchu předávají svou kinetickou energii molekulám materiálu, který tvoří danou konstrukci. Předpokladem pro toto šíření je homogenita a izotropie materiálu.

Teplotní pole může být ustálené nebo neustálené. Ustálené (stacionární) teplotní pole je takové, kde je uvažována konstantní teplota v závislosti na čase a je tedy pouze funkcí polohy. Neustálené (nestacionární) teplotní pole je naopak také funkcí

času, jelikož je uvažováno se změnou teploty v závislosti na čase. Nestacionární pole tedy podrobněji popisuje reálnou situaci, kdy se teplota exteriéru mění v závislosti na čase (střídání dne a noci). Pro výpočty popisující energetickou náročnost budovy se však používá jednorozměrné stacionární pole, kde je teplota funkcí tloušťky konstrukce



Obr. 1: Průběh teplot při vedení tepla tříplášťovou konstrukcí [1]

Z uvedeného tedy platí, že tepelný tok je přímo úměrný teplotnímu spádu, a matematicky se tento jev dá popsat první Fourierovým zákonem [2]:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t,$$

kde:

q ... hustota tepelného toku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

λ ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

grad t ... teplotní gradient [$\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$].

2.1.1.2. Šíření tepla prouděním (konvekci)

Prouděním (konvekci) se teplo šíří jen v tekutinách (tedy v kapalinách a plynech). Částice látek se pohybují a dochází při tom k přenosu tepla. Z fyzikálního hlediska dochází ke dvěma jevům:

- teplo se odvádí vedením z částice na částici,
- pohybující se částice přenáší svou vnitřní energii z místa na místo prouděním (konvekci).

Prouděním se teplo šíří rychleji než vedením. Při proudění tepla se s rostoucí teplotou snižuje hustota tekutiny. To má za důsledek například to, že teplý vzduch stoupá vzhůru.

Existují dva typy proudění tepla, a to:

- volné (přirozené) proudění a
- umělé (nucené) proudění.

Volné (přirozené) proudění tepla je vyvoláno samostatně pouze rozdílnými teplotami tekutin. Naopak umělé (nucené) proudění tepla je vyvoláno vnějšími vlivy (u proudění tepla v budovách zejména ventilátory nebo čerpadly). V porovnání s volným prouděním dochází u umělého proudění k větší intenzitě výměny tepla, takže vliv volného proudění lze považovat za zanedbatelný.

Z fyzikálního hlediska se výměna tepla konvekcí mezi povrchem stavební konstrukce a vzduchem nazývá prostup tepla. Prostup tepla při proudění ze vzduchu do stavební konstrukce anebo naopak je dle Newtonova zákona popsán vztahem [2]:

$$q_k = \alpha_k \cdot (t - t_p),$$

kde:

q_k ...hustota tepelného toku při proudění [$W \cdot m^{-2}$],

α_k ...součinitel prostupu tepla při proudění [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$],

t ...teplota vzduchu [$^{\circ}C$],

t_p ...teplota povrchu konstrukce [$^{\circ}C$].

Součinitel prostupu tepla při proudění α_k není konstantní, ale závisí na mnoha parametrech charakterizujících stav a pohyb vzduchu, tvar a umístění konstrukce apod.

2.1.1.3. Šíření tepla sáláním (radiací)

Sálání (radiace) je přenos elektromagnetických vln s vlnovou délkou 760-4000 nm rychlostí světla $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (ve vakuu). Sálání je jediný způsob šíření tepla skrze vakuum, což má za důsledek přenos tepelné energie ze Slunce na Zemi. Sálající těleso vydává elektromagnetické vlnění, které se šíří přímočaře a při dopadu na jiné těleso se mění na tepelnou energii. Sálavá schopnost různých povrchů stavebních materiálů může být při stejné teplotě různá. Za ideální těleso, které má při určité teplotě maximální sálavou schopnost, se uvažuje tzv. absolutně černé těleso. Sálavá schopnost reálných těles je pouze část energie sálání absolutně černého

tělesa při stejné teplotě. Sálání tepla a jeho absorpce je významná především u tuhých těles a kapalin. Intenzita takovéto výměny tepla je závislá na vlastnostech těles (tvar, rozměry, teplota, vzájemná poloha, sálavé schopnosti atd.), mezi nimiž probíhá výměna tepla

Celková zářivá energie dopadající na těleso se skládá ze tří částí:

$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_T,$$

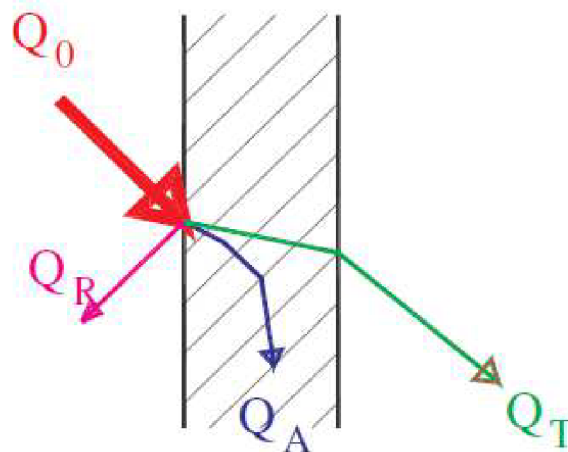
kde:

Q_0 ...celková energie dopadající na těleso [J],

Q_A ...část energie pohlcená tělesem [J],

Q_R ...část energie odražená tělesem [J],

Q_T ...část energie procházející tělesem [J].



Obr. 2: Schéma tepelných toků při sálání skrze stavební konstrukci

Hustota zářivého toku absolutně černého tělesa je dána Stefan-Boltzmannovým zákonem [2]:

$$q_{\check{c}} = C_{\check{c}} \cdot \left(\frac{T}{400}\right)^4,$$

kde:

$q_{\check{c}}$...hustota zářivého toku absolutně černého tělesa [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

$C_{\check{c}}$...Stefan-Boltzmannova konstanta, $C_{\check{c}} = 5,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$,

T ...termodynamická teplota [K].

V praxi však absolutně černá tělesa neexistují. Reálná (šedá) tělesa vyzařují při stejné teplotě menší množství energie. Tento poměr je vyjádřen emisivitou záření:

$$\varepsilon = \frac{q_s}{q_\zeta},$$

kde:

ε ...emisivita záření [-],

q_s ...hustota zářivého toku šedého tělesa [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],

q_ζ ...hustota zářivého toku absolutně černého tělesa [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].

Hustota tepelného toku reálných (šedých) těles je tedy dána vztahem podle [2]:

$$q_s = \varepsilon \cdot q_\zeta = \varepsilon \cdot C_\zeta \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4.$$

2.1.2. Metodika stanovení tepelně izolační vlastnosti stavební konstrukce

Pro potřeby výpočtů spojených s energetickou náročností budov je nejdůležitější veličinou výsledný součinitel prostupu tepla konstrukce U_j [3]:

$$U_j = \frac{1}{R_j},$$

kde:

U_j ...součinitel prostupu tepla j -té konstrukce [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

R_j ...tepelný odpor j -té konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$].

Tepelný odpor j -té konstrukce R_j se stanoví jako suma tepelných odporů R_i jednotlivých vrstev zkoumané konstrukce dle vzorce [3]:

$$R_j = \sum_i R_i,$$

kde:

R_j ...tepelný odpor j -té konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$],

R_i ...tepelný odpor i -té vrstvy j -té konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$].

Tepelný odpor jednotlivých vrstev je dán poměrem tloušťky dané vrstvy a součinitele tepelné vodivosti materiálu, kterým je tato konstrukce tvořena [3]:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i},$$

kde:

R_j ...tepelný odpor i -té vrstvy [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$],

d_i ...tloušťka i -té vrstvy [m],

λ_i ...součinitel tepelné vodivosti materiálu tvořící i -tou vrstvou [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$].

Při posuzování konstrukcí, které nejsou na rozhraní exteriéru a interiéru, je třeba zohlednit také rozdíl teplot, kterému je konstrukce vystavena. To je provedeno stanovením redukčního součinitele b_j , který je dán vztahem [3]:

$$b_j = \frac{t_i - t_u}{t_i - t_e},$$

kde:

b_j ...redukční teplotní součinitel [-],

t_i ...návrhová teplota interiéru [°C],

t_u ...návrhová teplota nevytápěných prostor [°C],

t_e ...návrhová teplota exteriéru [°C].

Ze vzorce pro výpočet redukčního součinitele b_j vyplývá, že pro konstrukce na rozhraní exteriéru a interiéru (tedy platí $t_i = t_u$), je redukční teplotní součinitel $b_j = 1$. Pro konstrukce na rozhraní interiéru a nevytápěného prostoru redukční teplotní součinitel nabývá hodnot 0 až 1.

Je-li známa plocha konstrukce A_j , součinitel prostupu tepla konstrukce U_j a redukční součinitel b_j , lze vypočítat měrnou tepelnou ztrátu konstrukce H_{Tj} jejich součinem [3]:

$$H_{Tj} = A_j \cdot U_j \cdot b_j,$$

kde:

H_{Tj} ...měrná tepelná ztráta j -té konstrukce [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$],

A_j ...plocha j -té konstrukce [m^2],

U_j ...součinitel prostupu tepla j -té konstrukce [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

b_j ...redukční teplotní součinitel [-].

Jsou-li stanoveny měrné tepelné ztráty všech konstrukcí, které tvoří obálku budovy, výsledná tepelná ztráta je stanovena jejich sumou a vliv tepelných mostů je zohledněn přírážkou ΔU [3]:

$$H_T = \sum_j H_{Tj} + A \cdot \Delta U$$

kde:

H_T ...celková měrná tepelná ztráta obálkou budovy [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$],

H_{Tj} ...měrná tepelná ztráta j -té konstrukce [$\text{W} \cdot \text{K}^{-1}$],

A ...celková plocha obálky budovy [m^2],

ΔU ...přírážka k součiniteli prostupu tepla U [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

Aby měla budova co nejnižší měrnou tepelnou ztrátu prostupem tepla, je třeba dosáhnout co nejnižších hodnot součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí U_j . Z uvedených vzorců vyplývá, že pro dosažení nižšího součinitele prostupu tepla U , je třeba do konstrukce aplikovat vrstvu z izolačního materiálu větší tloušťky d s nižším součinitelem prostupu tepla λ . Takto zateplená konstrukce v zimním období lépe odolává úniku tepla z interiéru ven a v letním období naopak lépe zabraňuje přehřívání interiéru.

Podstatné je také stanovení optimální tloušťky tepelné izolace. Ta musí být dostatečně velká, aby byl významně snížen součinitel prostupu tepla konstrukce, ale na druhou stranu nesmí být tepelná izolace příliš tlustá, aby bylo její použití ještě ekonomicky výhodné. U některých konstrukcí je třeba také počítat s možným omezením tloušťky tepelné izolace z provozních důvodů (např. snížení světlé výšky sklepa při zateplování podlahy na spodní straně konstrukce). Nelze také opomenout vedlejší jevy spojené se zateplováním (např. snížení průvzdušnosti nebo difuzního odporu).

2.2. Difuze vodní páry

Molekuly vodní páry, které jsou obsaženy ve vzduchu, vykonávají chaotický neuspořádaný pohyb – difuzi. Odděluje-li však stavební konstrukce dvě prostředí s různými koncentracemi vodní páry, dochází k šíření molekul z prostředí s vyšší koncentrací vodní páry do prostředí s nižší koncentrací. Přirozeně se tak vyrovnává parciální tlak v obou prostředích. Parciální tlak vodní páry roste se zvyšující se teplotou prostředí a s vyšší relativní vlhkostí. Zpravidla tak dochází k situaci, že je-li v zimním období v interiéru vyšší teplota než v exteriéru, šíří se vodní pára z budovy ven. Tento jev se dá analogicky srovnat s prostupem tepla stavební konstrukcí. Parciální tlak syté vodní páry pro teploty od -20 °C do 0 °C se stanoví dle vzorce [4]:

$$\ln(p_v'') = 28,926 - \frac{6148}{273,15+t} ,$$

kde:

p_v'' ...parciální tlak syté vodní páry [Pa],

t ...teplota vzduchu v intervalu $t \in (-20; 0)$ [°C],

a pro teploty od 0 °C do 80 °C dle vzorce [4]:

$$\ln(p_v'') = 23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t},$$

kde:

p_v'' ...parciální tlak syté vodní páry [Pa],

t ...teplota vzduchu v intervalu $t \in (0; 80)$ [°C].

Pro vodní páru o nižší relativní vlhkosti než 100 % je pak její parciální tlak roven:

$$p_v = \varphi \cdot p_v'',$$

kde:

p_v ...parciální tlak vodní páry o relativní vlhkosti φ [Pa],

p_v'' ...parciální tlak syté vodní páry [Pa],

φ ...relativní vlhkost [-].

Matematicko-fyzikální popis difuze vodní páry skrze stavební konstrukci je analogický s popisem prostupu tepla. Rozdíl parciálních tlaků vodní páry na obou stranách stavební konstrukce lze srovnat s teplotním spádem při posuzování prostupu tepla. Veličinou, která má podobný význam jako součinitel tepelné vodivosti λ u tepelného prostupu, je součinitel difuze vodní páry δ [s]. Čím vyšší je hodnota součinitele difuze vodní páry, tím lépe materiál umožňuje difuzi vodní páry. Tato veličina má význam při stanovování množství vody m , která prodifunduje konstrukcí o součiniteli difuze vodní páry δ , tloušťce d a ploše A při rozdílu parciálních tlaků Δp za dobu t . Toto množství je stanoveno (za předpokladu, že se jedná o jednovrstvou konstrukci) dle vzorce [5]:

$$m = \delta \cdot \frac{A}{d} \cdot \tau \cdot \Delta p,$$

kde:

m ...množství vody, které prochází difuzí konstrukcí [kg],

δ ...součinitel difuze vodní páry konstrukce [s],

A ...plocha konstrukce [m²],

d ...tloušťka konstrukce [m],

τ ...čas (doba) difuze [s],

Δp ...rozdíl parciálních tlaků na obou stranách konstrukce [Pa].

Další veličinou, která je analogická s prostupem tepla, je difuzní odpor R_d [m·s⁻¹]. Obdobně jako tepelný odpor vyjadřuje difuzní odpor míru, s jakou konstrukce

odolává difuznímu prostupu vodní páry. Difuzní odpor i -té vrstvy stavební konstrukce se stanoví jako podíl tloušťky a součinitele difuze vodní páry dle vzorce:

$$R_{di} = \frac{d_i}{\delta_i},$$

kde:

R_{di} ...difuzní odpor i -té vrstvy konstrukce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

d_i ...tloušťka i -té vrstvy [m],

δ_i ...součinitel difuze vodní páry i -té vrstvy [s].

Difuzní odpor celé konstrukce se stanoví prostým součtem difuzních odporů jednotlivých vrstev:

$$R_{dj} = \sum_i R_{di},$$

kde:

R_{dj} ...difuzní odpor j -té konstrukce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

R_{di} ...difuzní odpor i -té vrstvy j -té konstrukce [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Jelikož je součinitel difuze vodní páry materiálovou charakteristikou, zavádí se veličina zvaná faktor difuzního odporu μ [-], která srovnává difuzní propustnost daného materiálu s difuzní propustností stejně tlusté vrstvy vzduchu. Faktor difuzního odporu zkoumaného materiálu se tedy stanoví dle vzorce:

$$\mu = \frac{\delta_{vzduch}}{\delta_{materiál}},$$

kde:

μ ...faktor difuzního odporu zkoumaného materiálu [-],

δ_{vzduch} ...součinitel difuze vodní páry vzduchu [s],

$\delta_{materiál}$...součinitel difuze vodní páry zkoumaného materiálu [s].

Hodnota součinitele difuze vodní páry pro vzduch je rovna $\delta_{vzduch} = 0,178 \cdot 10^{-9}$ s a hodnoty součinitelů difuze vodní páry stavebních materiálů jsou vyšší, tudíž hodnoty faktoru difuzního odporu materiálu nabývají hodnot od 1 výše. Pro naprosto parotěsné materiály (např. parozábrany) je faktor difuzního odporu roven $\mu = \infty$.

Pro srovnání difuzních vlastností se vzduchem je zavedena také veličina zvaná ekvivalentní difuzní tloušťka S_d [m]. Ta vyjadřuje tloušťku vzduchové vrstvy, která by

se svými difuzními vlastnostmi nahradila danou vrstvou materiálu. Ekvivalentní difuzní tloušťka zkoumaného materiálu se tedy stanoví vztahem:

$$S_d = R_d \cdot \delta_{vzduch} = R_d \cdot 0,178 \cdot 10^{-9},$$

kde:

S_d ...ekvivalentní difuzní tloušťka zkoumaného materiálu [m],

R_d ...difuzní odpor zkoumaného materiálu [$m \cdot s^{-1}$],

δ_{vzduch} ...součinitel difuze vodní páry vzduchu [s].

Z uvedených vzorců vyplývá, že parotěsné materiály se vyznačují vysokým faktorem difuzního odporu a vysokou hodnotou ekvivalentní difuzní tloušťky, a naopak paropropustné materiály mají hodnotu difuzního odporu i ekvivalentní tloušťky nízkou.

V praxi dochází v zimním období k difuzi vodní páry z vnitřního prostředí o vyšší teplotě (a tedy i o vyšším parciálním tlaku vodní páry) do exteriéru, kde jsou teploty nižší. Pokud teplota v konstrukci (nejčastěji v izolační vrstvě) klesne rychleji než teplota rosného bodu (teplota, kdy dochází ke kondenzaci vodní páry), vzniká v konstrukci tzv. zóna kondenzace, kde nakumulovaná vodní pára začíná kondenzovat. Tento jev je nežádoucí, neboť zkondenzovaná voda může zhoršit mechanické vlastnosti nosných materiálů, může snížit tepelně izolační vlastnosti izolantů a vést ke vzniku plísní. Malé množství kondenzátu v konstrukci je tolerovatelné, při zvýšení vnějších teplot na jaře a v létě se zkondenzovaná voda v konstrukci odpařuje.

Ochrana proti kondenzaci vody v konstrukci spočívá v její skladbě. Jestliže jsou vnitřní vrstvy konstrukce parotěsné a vnější izolační vrstvy propouští páru snadněji, nedochází k výrazné kondenzaci vodní páry v konstrukci, protože je dobře odvětrávána. Z hlediska difuze je akceptovatelné také obrácené řešení, kdy tepelná izolace na straně exteriéru sice propouští páru málo, ale má natolik dobré tepelně izolační vlastnosti, že v nosné vrstvě nepoklesne teplota pod teplotu rosného bodu, a nedochází zde ke kondenzaci. K té může případně dojít v izolační vrstvě, což je ovšem vzhledem k malé difuzní propustnosti izolantu považováno za bezpečné. Další možností ochrany před kondenzací je aplikace parotěsného materiálu (např. fólie) na interiérové straně konstrukce, která zabrání průniku vodní páry difuzí do ochlazovaných stěn. Toto řešení je často používáno u dřevostaveb.

2.3. Tepelná akumulace

Tepelná akumulace konstrukcí, které tvoří obálku budovy, je významná z hlediska zajištění tepelné pohody a stálosti teplot ve vytápěné budově. Dostatečná tepelná akumulace obálkových konstrukcí zajišťuje větší teplotní stálost, protože dokáže své naakumulované teplo předat vnitřnímu prostředí v případě, že dojde k náhlé změně teplot (např. přirozeně střídáním dne a noci, v případě přerušení vytápění nebo po intenzivním vyvětrání). Nevýhodou konstrukcí s dobrou tepelnou kapacitou je nutnost dodat takovým konstrukcím dostatek počáteční tepelné energie k tomu, aby se v nich teplo naakumulovalo. Tepelnou akumulaci stavebních konstrukcí nejnvýstižněji popisují plošná tepelná kapacita C , relaxační doba τ_0 a tepelná jímavost b .

2.3.1. Plošná tepelná kapacita

Už z názvu vyplývá, že se jedná se o fyzikální veličinu, která vyjadřuje tepelnou kapacitu vztaženou na jednotku plochy. Je tedy definována jako množství tepla, které 1 m^2 konstrukce pohltí při ohřátí o 1 K (případně vydá při ochlazení o 1 K)

$$C = c \cdot \rho \cdot d,$$

kde:

C ...plošná tepelná kapacita konstrukce [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

c ...měrná tepelná kapacita materiálu tvořící konstrukci [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ ...objemová hmotnost materiálu tvořící konstrukci [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

d ...tloušťka vrstvy konstrukce [m].

Tento vzorec je platný pro jednovrstvé konstrukce. Pro vícevrstvé konstrukce se celková plošná tepelná kapacita konstrukce stanoví podobně jako u tepelného nebo difuzního odporu sumou tepelných kapacit jednotlivých vrstev. Vyšší plošnou tepelnou kapacitu tedy vykazují tlustší konstrukce tvořené materiály o vyšší objemové hmotnosti a vyšší měrné tepelné kapacitě. V praxi mají tedy vyšší plošnou tepelnou kapacitu například materiály, které plní nosnou funkci zdiva (keramické tvárnice, pórobetonové tvárnice, beton atd.) než izolační materiály. Z těchto důvodů a kvůli difuzním vlastnostem různých materiálů se tedy standardně umísťuje tepelná izolace na vnější (tedy ochlazovanou) stranu zateplováných konstrukcí. Z hlediska výpočtu součinitele prostupu tepla U sice na pořadí vrstev nezáleží, ale je nutno zvážit skladbu konstrukce nejen z provozního hlediska, ale také s ohledem na tepelnou akumulaci a difuzní vlastnosti stavebních materiálů.

2.3.2. Relaxační doba

Relaxační doba τ_0 je zavedena pro lepší popis schopnosti stavební konstrukce předat své naakumulované teplo vnitřnímu prostředí a stabilizovat tak vnitřní teplotu. Na relaxační dobu lze nahlížet při stacionárním teplotním poli pomocí vzorce:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\Delta T}{\tau_0},$$

kde:

τ_0 ...relaxační doba [s],

$\frac{dt}{d\tau}$...rychlost poklesu vnitřní povrchové teploty [$\text{K}\cdot\text{s}^{-1}$],

ΔT ...rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou v okamžiku přerušení dodávky tepla [K].

Platí-li předpoklad, že se průběh teplot v každém okamžiku blíží stacionárním podmínkám, platí pro relaxační dobu τ_0 vztah:

$$\tau_0 = \frac{d^2}{2 \cdot a},$$

kde:

τ_0 ...relaxační doba [s],

d ...tloušťka vrstvy [m],

a ... součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$].

Součinitel teplotní vodivosti a se vypočte z materiálových charakteristik dle vzorce:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c},$$

kde:

a ...součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$],

λ ...součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ ...objemová hmotnost materiálu tvořící konstrukci [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

c ...měrná tepelná kapacita materiálu tvořící konstrukci [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Pro složitější konstrukce o n vrstvách je výpočet relaxační doby $\tau_0(n)$ následující [6]:

$$\tau_0(n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i^2}{2 \cdot a_i} + \frac{\lambda_i \cdot d_i}{a_i} \cdot \sum_{j=i+1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \right).$$

2.3.3. Tepelná jímavost

Dle [7] se na tepelnou akumulaci pohlíží různě v závislosti na tom, zda se jedná o stacionární nebo nestacionární teplotní šíření. U stacionárního teplotního pole je významná pouze tepelná vodivost materiálu λ , kdežto u nestacionárního teplotního pole je významná objemová hmotnost ρ a měrná tepelná kapacita c_p . Na výsledný vztah těchto tří veličin se lze nahlížet dvěma způsoby:

1.) Jako na podíl:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}.$$

Tento vztah se objevuje ve Fourierově rovnici kontinuity. Součinitel teplotní vodivosti a , někdy také nazýván termometrická vodivost, popisuje rychlost šíření teplotní vlny skrze tuhou látku. Jelikož je tepelná vodivost λ závislá na objemové hmotnosti ρ , význam teplotní vodivosti a se příliš nemění v závislosti na materiálu.

2.) Jako na součin:

$$b = \lambda \cdot \rho \cdot c_p, \text{ respektive}$$

$$e = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}{\tau}}.$$

Šířící se tepelný tok do materiálu o velké tloušťce je úměrný veličině v angličtině nazývané jako Effusivity e [7] vyjádřené vztahem $e = \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}{\tau}}$, kde τ je čas ($\tau = 24$ hodin, pokud je konstrukce posuzována podle denní periody). Veličina effusivity vyjádřená vztahem $e = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c_p}$ je mnohem větší pro těžké konstrukční materiály než pro lehké tepelné izolanty.

3. TEPELNÉ IZOLANTY A ZATEPLOVACÍ TECHNOLOGIE

Tato kapitola je věnována standardně používaným izolačním materiálům ve stavebnictví a následně technologiím, které tyto izolanty aplikují na jednotlivé typy konstrukcí. Obecně se za tepelný izolant považuje takový materiál, jehož součinitel tepelné vodivosti dosahuje hodnot maximálně $\lambda = 0,100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Níže uvedené zateplovací technologie jsou rozděleny v závislosti na tom, jakou část stavební konstrukce zateplují. Podrobněji jsou popsány metody zateplování podlah, svislých obvodových konstrukcí, stropů a střech. Specifická je z pohledu zateplování budov výměna výplní otvorů (oken, dveří, garážových vrat apod.). Zde se tepelně izolační vlastnosti nevyhovujících oken a dveří nezlepšují, ale nahrazují se novými výrobky.

3.1. Materiály používané jako tepelné izolanty

Ve stavebnictví je používána celá řada materiálů, které plní funkci tepelných izolantů. Volba jejich použití závisí na mnoha faktorech v závislosti na umístění izolace v jednotlivých konstrukcích obálky budovy, na součiniteli tepelné vodivosti λ , na nasákavosti izolantu, na požadavcích na odolnost vůči ohni, na fyzikálně mechanických vlastnostech (zejména na pevnosti v tlaku) a v neposlední řadě také na ceně materiálu. V zásadě se tyto materiály dají rozdělit do čtyř skupin (přírodní, nerostné, pěnové a vakuové izolace).

3.1.1. Přírodní izolace

Přírodní izolace patří mezi nejstarší používané izolace ve stavebnictví. Nejpoužívanějšími izolacemi bylo seno, lišejníky a sláma do doby, než se jako tepelné izolace začaly v 60. letech 20. století používat plasty. Mezi přírodní izolanty, které se v současnosti využívají ve stavebnictví, patří například konopí, celulóza a tepelné izolanty vyrobené z recyklovaného dřeva (např. dřevovláknité desky).

3.1.1.1. Konopí [8]

Největšími výhodami technického konopí oproti dřevu je rychlejší obnovitelnost, méně náročná péče a ekologičtější růst (při růstu se odbourává CO_2 a půda zůstává po sklizni kvalitní). Z konopných vláken jsou vyráběny jak konstrukční desky, tak izolační materiály ve formě desek či rouna. Pro izolování komplikovaných částí konstrukce (těžce přístupná nebo nepravidelná místa) bývá používána foukaná sypká izolace.

Izolace z technického konopí mají srovnatelné tepelně izolační vlastnosti jako obvykle používané izolace ($\lambda \approx 0,045 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), dlouhodobě si uchovávají své vlastnosti, jsou pevné, odolné proti vlhkosti a biologickým vlivům a jsou paropropustné. Vzhledem k vysoké tepelné kapacitě ($c \approx 1600\text{-}2100 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) se v letních měsících nepřehřívají a současně působí jako tepelně akumulací materiál.

3.1.1.2. Celulóza [8]

Tepelné izolace na celulózové bázi jsou vyráběny z recyklovaného novinového papíru. Ten je jako základní surovina roztrhán a smíchán s přísadami, nejčastěji se používají boritany, které zajišťují výslednou odolnost celulózové izolace proti biologickým vlivům a ohni. Tato směs je rozemleta a na trhu nabízena pod nejrůznějšími obchodními názvy (v České republice jsou nejznámější názvy Climatizer nebo Isocell, v zahraničí pak Isofloc nebo Thermofloc). Směs bývá nanášena foukáním, taková aplikace má výhodu v tom, že jí lze vyplňovat i těžko přístupná místa a dutiny zateplované konstrukce. Zejména v šikmých a svislých částech stavby je nutno uvažovat se sedáním nanášené izolace, a proto je často celulózová izolace v těchto místech hutněna.

Podobně jako i jiné přírodní materiály se celulózová izolace vyznačuje tím, že na sebe navazuje vlhkost ze zdiva a rovnoměrně ji předává dále. Touto svou vlastností připomíná savý papír. Tato izolace je rozšířenější v zahraničí zejména u dřevostaveb a pasivních domů. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti celulózových izolací ($\lambda \approx 0,040\text{-}0,045 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) jsou srovnatelné s hodnotami standardně používaných tepelných izolantů.



Obr. 3: Aplikace celulózové izolace foukáním [8]

3.1.1.3. Dřevovláknité izolace [9]

Základními surovinami pro výrobu dřevovláknitých desek jsou dřevní vlákna, síran hlinitý, zpevňující plnidla a další přísady (např.: hydrofobizované přídavky vodního skla a parafínu). Dřevovláknité izolace mají široké spektrum využití v různých konstrukcích stavby. Ve formě desek mohou být vloženy do sloupkových konstrukcí, při větších objemových hmotnostech se aplikují jako fasádní izolace, tuhé desky se používají pro izolaci podlah a některé typy desek se mohou díky hydrofobizaci použít jako nadkroevní izolace plnicí současně tepelně izolační a pojistnou hydroizolační funkci. Dřevovláknité izolace je možno aplikovat také foukáním pneumatickým potrubím. Objemová hmotnost izolace se u foukané izolace liší dle sklonu konstrukce. Ke dřevovláknitým izolacím se přidává kyselina boritá jako retardér hoření. Přesto jsou dřevovláknité izolace zařazeny do třídy reakce na oheň E.

Vlastnosti se mění s objemovou hmotností. S rostoucí objemovou hmotností klesá součinitel tepelné vodivosti λ a zvyšuje se faktor difuzního odporu μ . Dřevovláknité izolace s objemovou hmotností okolo $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vykazují součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,039\text{-}0,045 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, faktor difuzního odporu $\mu = 1\text{-}2$ a jsou dobře stlačitelné. Izolace s objemovou hmotností $250\text{-}300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ mají hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,040\text{-}0,055 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, faktor difuzního odporu $\mu = 5\text{-}10$ a mají lepší mechanické vlastnosti (tlaková pevnost cca 200 kPa, tahová cca 30 kPa), a proto mohou být přímo kotveny jako rošty fasády nebo při laťování střechy.



Obr. 4: Dřevovláknitá izolační deska Steico protect [10]

3.1.2. Nerostné izolace

Za nerostné izolace by se dala považovat celá řada kompozitních materiálů, u kterých plní funkci plniva nerosty s nízkou tepelnou vodivostí (např.: vermikulit, pemza, expandovaný perlit, křemelina a další). Nejpoužívanější tepelnou izolací nerostného původu ve stavebnictví je však vzhledem ke své relativně nízké ceně, vlastnostem a výslednému efektu minerální vlna.

3.1.2.1. Minerální vlna [8], [10]

Výroba minerální vlny spočívá v tavení hornin, nejčastěji čediče nebo křemene, a následném rozvláknění vzniklé taveniny. V případě tavení čediče vzniká kamenná vlna, v případě tavení křemene nebo skla skelná vlna. Do jemných vláken vzniklých tavením jsou vstříkována pojiva, hydrofobizační oleje a protiplísňové a další přísady. Následuje tepelné vytvrzení a ochlazení a poté je minerální vlna nařezána na potřebnou velikost. Materiál je standardně dodáván jako role či desky.

Vzhledem ke svému nerostnému původu má minerální vlna výbornou odolnost proti ohni (je zařazena do nejvyšší třídy reakce na oheň – A1). Má nízkou objemovou hmotnost a součinitel tepelné vodivosti se může u lehčích výrobků dostat až k hodnotám $\lambda = 0,035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Výraznou předností minerální vlny oproti jiným izolantům je její nízký difuzní faktor, který se nejčastěji pohybuje okolo hodnot $\mu = 1-2$, což má za důsledek to, že si takto zateplené konstrukce zachovávají nízký difuzní odpor a vysokou paropropustnost a dům může tzv. „dýchat“, čili se případná zkondenzovaná vlhkost v obvodové konstrukci může odpařovat do exteriéru. Minerální vlna má však oproti jiným izolantům vysokou nasákavost, která negativně ovlivňuje její tepelně izolační vlastnosti. Z tohoto důvodu je třeba tepelnou izolaci chránit před vlhkostí z exteriéru hydroizolací a před vlhkostí z interiéru parozábranou. Minerální vlna může být aplikována ve formě desek či rohoží nebo jako foukaná izolace. Použití deskové či rohožové minerální vlny může rozdílné být v závislosti na jejich mechanických vlastnostech. Měkké rohože jsou používány tam, kde nejsou vystaveny namáhání (např.: půdní prostory nebo technické izolace), tuhé desky jsou vhodné pro zatížené konstrukce (např.: kontaktní zateplovací systém ETICS, provětrávané fasády, výplňové izolace rámových dřevostaveb, izolace šikmých střech apod.) a desky s vyšší objemovou hmotností lze použít k zateplení podlah. Speciální použití pak mají desky s kolmou orientací vláken, ty se ve formě lamel aplikují na zakřivené povrchy. Foukaná izolace je nanášena podobně jako

u dřevovláknitých izolací pneumatickým potrubím. Výhoda foukané izolace spočívá ve snadnějším zateplení komplikovanějších detailů.



Obr. 5: Minerální čedičová vlna Isover AKU [12]

3.1.3 Pěnové izolace [8]

Nízký součinitel tepelné vodivosti λ u pěnových tepelných izolací je způsoben napěněním polymerů, kdy se do jejich struktury dostává vzduch, a výrazně se snižuje objemová hmotnost polymerů a snižuje se jejich tepelná vodivost. Mezi nejpoužívanější pěnové izolace patří polystyreny, polyuretany, PVC, pěnová skla, kaučuky, pryskyřice a další. Nevýhodou pěnových izolací je poměrně nízká požární odolnost.

3.1.3.1. Expandovaný polystyren [8]

Expandovaný (pěnový) polystyren je označován EPS. Za tímto označením bývá často napsáno číslo, které určuje jeho pevnost (EPS 70 je tedy expandovaný polystyren s tlakovou pevností 70 kPa). Hodnoty pevnosti se pohybují v rozmezí 50 až 250 kPa. Základní surovinou pro výrobu EPS je styren, ze kterého je polymerací vyroben nenapěněný polystyren ve formě perlí, obsahující nadouvadlo (zpravila 6-7% pentan).

Samotné napěnění pak probíhá ve třech fázích. V první fázi dochází k předpěnění polystyrenu přítomností syté vodní páry, což má za důsledek nárůst perlí na několikanásobek původního objemu. Další fází je meziuskladnění perlí v provzdušňovacích silech, kdy během chlazení vzniká podtlak a do buněk perlí se dostává vzduch a perle získávají mechanické vlastnosti. V poslední fázi jsou perle v kvádrových formách znovu vystaveny působení syté páry a vlivem přítomnosti pentanu jako nadouvadla a vzduchu dále expandují. Dojde také ke vzájemnému svaření perlí a vznikají bloky, které jsou následně zpravidla horkým drátem nařezány na požadované rozměry.

Při aplikaci expandovaného polystyrenu na povrch zateplované konstrukce se jednotlivé vrstvy buď lepením, nebo kombinací lepení a mechanických kotev přichycují na zateplovanou konstrukci. Pro zabránění vzniku tepelných mostů se aplikuje více vrstev, kdy se bloky kladou na vazbu podobně jako cihelné zdivo.

Součinitel tepelné vodivosti expandovaného polystyrenu se v závislosti na jeho objemové hmotnosti pohybuje v hodnotách $\lambda = 0,037-0,051 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. EPS neodolává dlouhodobému působení vlhkosti a je ho třeba chránit hydroizolací, popřípadě parozábranou. Výhodou expandovaného polystyrenu je jeho cena.

Zajímavým produktem je šedý polystyren, který se od klasického expandovaného polystyrenu liší zejména nižšími součiniteli tepelné vodivosti ($\lambda = 0,032 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Toho je dosaženo přidáním uhlíkových nanočástic před napěněním. Tyto částice omezují sálavou složku šíření tepla pěnou a snižují tak tepelnou vodivost materiálu. Podrobněji je tato tematika popsána v kapitole 4.



Obr. 6: Expandovaný polystyren Styrotrade EPS 50 Z [13]

3.1.3.2. Extrudovaný polystyren [8]

Extrudovaný polystyren (značený XPS a číslem, které označuje napětí při 10% stlačení materiálu) se vyrábí tzv. extruzí. Tento proces spočívá ve vytlačování taveniny krystalového polystyrenu s přídavkem zpomalovačů hoření trubici za jeho současného sycení speciálním zpěňovadlem, které po uvolnění tlaku na konci trubice způsobí napěnění polystyrenu. Po ochlazení hmoty se extrudovaný polystyren upravuje na požadované rozměry. XPS se vyznačuje velmi nízkou nasákavostí vzhledem ke své uzavřené pórovitosti a lze jej tedy použít ve vlhkém prostředí, kde plní zároveň tepelně izolační a hydroizolační funkci (např.: u soklů nebo u střech s obráceným pořadím vrstev). Oproti expandovanému polystyrenu má také lepší mechanické vlastnosti a lze jej tedy použít například k izolaci podlah. Nevýhodou XPS je nutnost ochrany před UV zářením. Extrudovaný polystyren je nejčastěji dodáván jako desky s polodrážkou nebo hranou. Je prodáván pod nejrůznějšími obchodními názvy, mezi nejznámější patří například Styrodur, Styrofoam, Fibran ECO a další.



Obr. 7: Extrudovaný polystyren Styrodur 2800 C [12]

3.1.3.3. Pěnový polyuretan a polyizokyanurát [8]

Jedná se o izolační materiál, známý spíše pod názvem molitan, ve stavebnictví se používá tvrdá polyuretanová pěna (PUR) nebo v současnosti polyizokyanurátová pěna (PIR). Tyto izolace se vyznačují velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti, který může dosahovat až hodnot $\lambda = 0,023 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Toho je dosaženo díky omezení sálavé složky prostupu tepla pěnou, velmi jemné pórovitosti, a vysoké hodnotě přestupových rozhraní mezi tuhými fázemi PUR/PIR a vzduchem, kde probíhá difuzní (tedy nesálavý) prostup tepla. Pěny PUR/PIR nejsou odolné proti UV záření, a proto je třeba před ním chránit. Izolanty z tohoto materiálu tedy bývají často obaleny hliníkovou fólií nebo se používají jako výplň sendvičových panelů zejména u velkoplošných obvodových nebo střešních konstrukcí (obchodní domy, výrobní haly, sklady apod.). PUR/PIR pěny je možno aplikovat také litím nebo stříkáním přímo na stavbě.



Obr. 8: Obvodový sendvičový panel KS1150 NC/TC s PIR izolací [14]

3.1.3.4. Pěnové sklo [8]

Pěnové sklo je vyráběno ze směsi hlinitosilikátového skelného prášku a velmi jemného uhlíkového prášku. Tato směs je v ocelových formách zavezena do tunelové pece a zahřata přibližně na 1000 °C. Při této teplotě je sklo roztaveno a uhlík je oxidován na CO₂. Oxid uhličitý následně taveninu napění, zvětší se její objem a po ochlazení na teplotu 20 °C se objemově ustálí. Pěnové sklo má velmi jemnou uzavřenou pórovitost, která zajišťuje nízkou tepelnou vodivost, absolutní nehořlavost a parotěsnost. Pěnové sklo je prodáváno pod obchodním názvem Foamglas a je využíváno v energeticky úsporných či pasivních domech k izolaci spodní stavby nebo k omezení tepelných mostů, například u paty nosných stěn. Dále lze tímto izolantem vzhledem k jeho mechanické odolnosti zateplovat pochozí nebo pojízdné střechy a plochy s vysokým tlakovým namáháním. Nevýhodou pěnového skla je jeho vysoká cena v porovnání s ostatními izolanty.



Obr. 9: Deska z pěnového skla FOAMGLAS® T3+ [15]

3.1.4. Vakuové izolace [8]

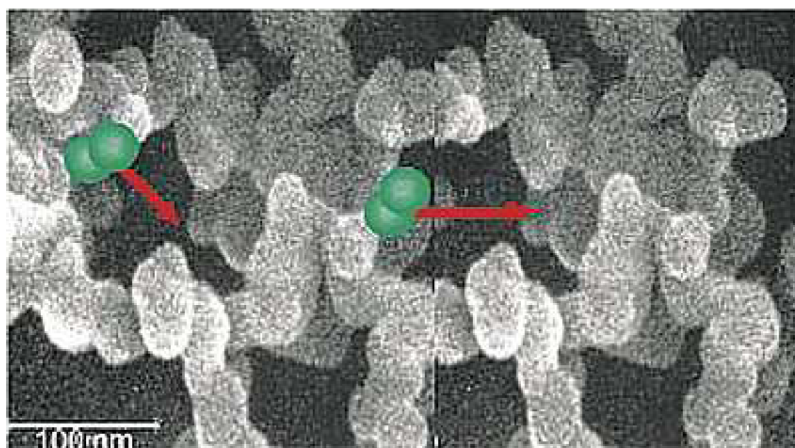
Principem vakuových izolací je omezení přítomnosti vzduchu, který se nejméně podílí na celkovém prostupu tepla. Samotný materiál klasických tepelných izolantů (tuhá část pěny, minerální či rostlinná vlákna atd.) je dobrou tepelnou izolací, ale v kombinaci se vzduchem, který zaujímá většinu objemu izolantu, dosahují klasické izolace tepelné vodivosti hodnot přibližně $\lambda = 0,030-0,040 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Jestliže je tedy z tepelného izolantu odčerpán vzduch, který má dominantní vliv na jeho tepelnou vodivost, bývá dosaženo velmi nízkých hodnot součinitele prostupu tepla U . Při dosažení podtlaku, který se limitně blíží 100% vakuu, vykazují takovéto materiály hodnoty tepelného odporu až $R = 250 \text{ m}^2\cdot\text{K}^1\cdot\text{W}^{-1}$ (převrácená hodnota součinitele prostupu tepla je rovna $U = 0,004 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).

Vakuové izolace jsou dodávány jako panely s výplní z tuhé sítové struktury složené ze shluků částic SiO_2 velmi malých rozměrů (viz Obr. 10, doplněné dvojitomové molekuly plynu ilustrují velikost pórů 70 nm v tomto materiálu.). Jedná se o tzv. pyrogenní kyselinu křemičitou, což je velmi jemně dispergovaný SiO_2 vzniklý hydrolýzou tetrachlorsilanu při teplotách okolo 1500 °C. Taková síť bývá často označována jako tzv. aerogel. Hmota má velmi jemnou mikrostrukturu připomínající prostorovou síť s oky o střední velikosti asi 70 nm. Vedení tepla probíhá hlavně vzájemnými srážkami molekul a střední volná dráha molekul je při atmosférickém tlaku také přibližně rovna 70 nm. Proto zůstává velká část molekul vzduchu izolována v buňkách nanoporézní sítě SiO_2 a s volnými molekulami si energii téměř nevyměňuje. Nedílnou součástí vakuových izolačních panelů je také obal, který musí být neprodyšný a dostatečně mechanicky odolný, aby zajistil trvalé odčerpání vzduchu a bezporuchovou manipulaci při výrobě a aplikaci na stavbě. Těmto vlastnostem vyhovuje polyetylenový obal pokovený slabou hliníkovou vrstvou, který je jako obal vakuových izolací nejčastěji používán. Aerogelová výplň je vložena do obalu, dojde k odsátí téměř veškerého vzduchu a obal je zataven.

Vakuové izolační panely se vyrábí v rozměrech stavebních desek a jejich tloušťka je nejčastěji od 20 do 80 mm. Nezvyklostí v porovnání s ostatními izolačními materiály je to, že tepelný odpor R (respektive součinitel prostupu tepla U) vakuových izolací není téměř závislý na její tloušťce. Je to dáno tím, že v izolantu je výrazně omezeno vedení tepla dané pohybem a vibracemi částic a přestup tepla probíhá hlavně sáláním. Vakuová izolace je tedy průchozí pro tepelné záření a průchod tepla skrze ni může být vnímán jako sdílení sálavého tepla mezi dvěma rovnoběžnými deskami.

Zářivý tepelný tok tak překonává odpor, který není závislý na vzdálenosti desek, tedy na tloušťce izolace. Pro potřeby výpočtů lze uvažovat se součinitelem tepelné vodivosti vakuových izolačních panelů $\lambda = 0,004-0,008 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Vzhledem k vysoké ceně vakuových izolací nejsou v ČR příliš používané, uplatňují se zejména pro omezení tepelných mostů v komplikovaných konstrukčních detailech konstrukcí.



Obr. 10: Obrázek z elektronového mikroskopu ilustrující strukturu aerogelu v podání pyrogenní kyseliny křemičité, která připomíná prostorovou síť. [8]

Výrobu tohoto materiálu nejvíce rozvinula německá firma Wacker Chemie, největší současní výrobci jsou va-Q-tec AG, Porextherm Dämmstoffe GmbH, VARIOTEC GmbH & Co. KG, Vaku-Isotherm GmbH, Microtherm a další.

Tab. 1: Přehled základních fyzikálních vlastností tepelných izolantů [8], [9], [16]

PŘEHLED ZÁKLADNÍCH FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ TEPELNÝCH IZOLANTŮ				
Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Měrná tepelná kapacita [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Faktor difuzního odporu [-]
konopí	0,045	30-100	1600-2100	1-2
celulóza	0,040-0,045	30-60	2000	1-3
dřevovláknité desky ¹⁾	0,039-0,045	50	1630	1-2
dřevovláknité desky ²⁾	0,040-0,055	250-300	1630	5-10
minerální vlna	0,035-0,079	15-300	880-960	1-2
EPS	0,030-0,051	10-120	1270	20-100
XPS	0,030-0,038	30-150	2060	100
PUR/PIR	0,023-0,060	30-100	800-1510	3-10
pěnové sklo	0,040-0,069	140-180	840	$\geq 100\ 000$
vakuové izolace	0,004-0,008	180-230	1240	$\geq 100\ 000$

1) lehké dřevovláknité desky

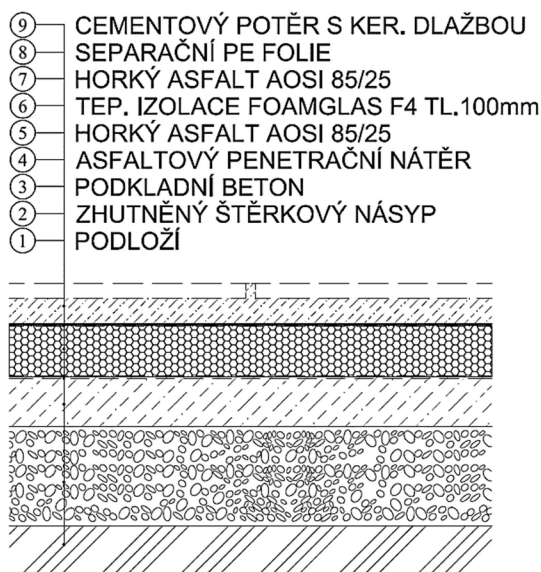
2) dřevovláknité desky s větší objemovou hmotností a tlakovou pevností

3.2. Zateplovací technologie

V této kapitole jsou popsány metody, jakými se izolační materiály aplikují na různé konstrukce, které tvoří obálku budovy. Takto zateplené konstrukce musí splňovat nejen tepelně technické požadavky (ty vychází z normových hodnot [3], které jsou uvedeny v Tab. 8 v kapitole 5.5.), ale také musí být zajištěna mechanická stabilita konstrukcí a při návrhu zateplení nelze zapomenout na problematiku tepelné akumulace stavebních materiálů a jejich difuzní vlastnosti.

3.2.1. Podlahy

Pro volbu technologie zateplování je zprvu nutné určit, o jakou podlahu se jedná. Může se jednat o podlahu nad terénem, nad nevytápěným nebo temperovaným prostorem (např. nad sklepem nebo garáží), nad venkovním prostorem (např. nad průjezdem) nebo o podlahu nad vytápěným prostorem. V posledním případě nemá význam podlahu zateplovat, jelikož zde dochází k minimálnímu teplotnímu toku mezi prostory, které podlaha rozděluje. V případě, že podlahová konstrukce odděluje interiér a exteriér, lze zde poměrně jednoduše aplikovat vnější kontaktní zateplovací systém (např. ETICS, viz kapitola 3.2.2.). U podsklepených podlah je možnost umístit tepelnou izolaci ze spodní strany konstrukce, tedy na strop sklepního prostoru. Taková možnost je výhodná z mnoha důvodů. Zpravidla není třeba řešit povrchové úpravy zateplení z estetického hlediska a nedochází k omezení provozu prostor nad podlahou během zateplování. Na druhou stranu je návrh tloušťky tepelné izolace omezen s ohledem na snížení světlé výšky ve sklepních prostorách. Tato varianta je výhodná také z hlediska tepelné akumulace (viz kapitola 2.3.). Jako izolační materiál lze použít v podstatě jakýkoli materiál, který je připevněn ke stropu sklepu mechanicky, lepením nebo kombinací mechanických kotev a lepení. Podlahy na zemině patří mezi komplikovanější konstrukce z hlediska zateplování. Je nutno odstranit vrchní vrstvy podlahy, aplikovat tepelný izolant a nanést novou roznášecí a nášlapnou vrstvu. Jelikož je podlaha konstrukcí, která je pro provoz a pohyb po objektu klíčová, odstranění původní nezateplené podlahy může značně omezit provoz objektu. Jako izolační materiál se zde nejčastěji používá polystyren (expandovaný i extrudovaný), protože kromě nízkého součinitele tepelné vodivosti vykazuje také dobré mechanické vlastnosti, nízkou nasákavost a dobrý útlum kročejového hluku. Je možno použít také minerální izolace, přírodní izolace, pěnové sklo a další.



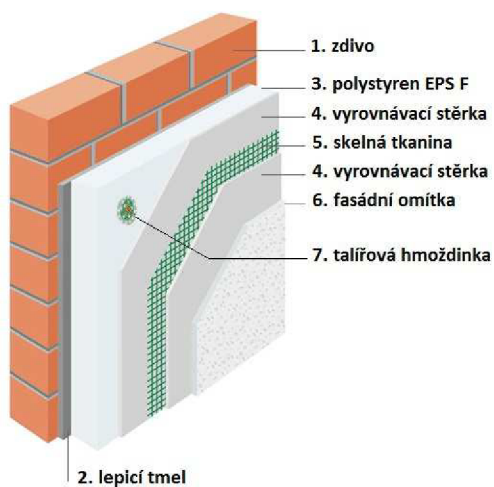
Obr. 11: Skladba podlahy na terénu zateplené izolací z pěnového skla

3.2.2. Obvodové stěny

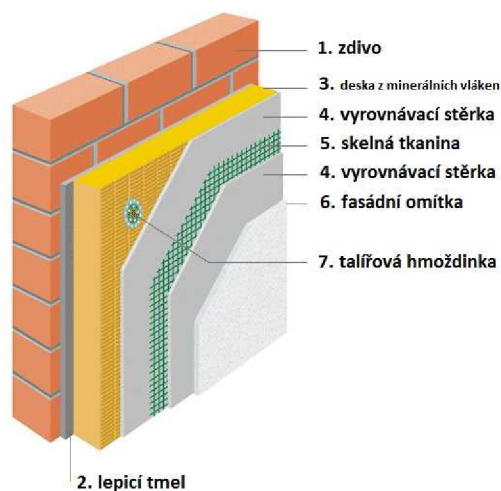
Konstrukce tvořící obvodový plášť budov mívají u většiny budov největší plochu, a proto je jejich zateplování věnována značná pozornost. Volba tepelné izolace zde závisí na více faktorech, zejména na tloušťce a tepelné vodivosti materiálu, který plní nosnou funkci obvodové konstrukce. Z těchto veličin totiž pak spolu s aplikovanou tepelnou izolací vyplývá výsledný součinitel prostupu tepla U . Konstrukce, které mají poměrně velkou tloušťku a jsou tvořeny materiálem s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, se proto často nevyplatí zateplovat. Například konstrukce tvořena pórobetonovými tvárnicemi tloušťky 300 mm se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,110 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ vykazuje součinitel prostupu tepla $U = 0,367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, konstrukce z dutinových keramických tvárnic se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ o tloušťce 300 mm má součinitel prostupu tepla $U = 0,767 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a zdivo z cihel plných pálených se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ stejné tloušťky má součinitel prostupu tepla $U = 2,667 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Z těchto zjednodušených výpočtů vyplývá, že má mnohem větší význam zateplovat budovu, jejíž obvodové stěny jsou tvořeny zdivem z cihel plných pálených, než budovu, která je tvořena z dutinových keramických tvárnic nebo dokonce z pórobetonu. Při navrhování nových staveb je možno uvažovat kromě použití materiálů s nízkým součinitelem tepelné vodivosti také sendvičové tvárnice s vloženou tepelnou izolací. Takové konstrukce mají výhodu ve snadnější a rychlejší

montáži, která vede ke zkrácení a zlevnění výstavby. V případě izolace stávajících nezateplených konstrukcí se nejčastěji na vnější stranu obvodových stěn instalují kontaktní systémy, provětrávané systémy nebo se u budov s historickou fasádou provádí zateplení z interiéru. Mezi nejznámější kontaktní zateplovací systémy patří ETICS.

ETICS je zkratka z anglického External Thermal Insulation Composite System a jedná se o nejpoužívanější zateplovací systém v České republice. Jako tepelně izolační vrstva kontaktního systému ETICS bývá použit tuhý materiál. Mezi nejpoužívanější patří pěnový polystyren, desky z minerálních vláken, případně izolanty na bázi PUR nebo PIR (polyuretan nebo polyisokyanurát). Tepelná izolace je lepena a kotvena na pevný a soudržný podklad obvodových stěn. Způsob lepení a množství požadovaných kotev je dán jednak výrobcem a také statickými požadavky. Na tepelný izolant je natažena tzv. základní vrstva, která se skládá ze stěrkové hmoty, do které je hladítkem vtlačena skleněná síťovina. Zpravidla je nanesena další vrstva stěrkové hmoty. Na základní vrstvu je poté provedena probarvená omítka se zatíranou nebo rýhovanou strukturou. Barva omítky má vliv na estetický vzhled fasády. Lze použít různé kombinace barev tvořící výsledné obrazce, je však třeba počítat s rozdílnou teplotní roztažností jednotlivých barevných částí fasád při osvětlení slunečním zářením a s možnými deformacemi zateplovacího systému. Volba materiálu omítky je také podstatná pro výsledné difuzní vlastnosti zateplené konstrukce. Při navrhování systému ETICS je třeba zohlednit také požární bezpečnost stavby a tedy i výběr tepelných izolantů. Tyto požadavky jsou definovány požárními normami.



Obr. 12: Vnější zateplovací systém ETICS s izolací z expandovaného polystyrenu [17]



Obr. 13: Vnější zateplovací systém ETICS s izolací z minerální vlny [17]

3.2.3. Stropy

Izolace stropních konstrukcí bývá velmi častým opatřením pro snížení energetické náročnosti objektu. V závislosti na tom, jaké prostory strop rozděluje, se také volí metoda jeho zateplení.

V případě, že se strop nachází nad vytápěným prostorem a pod nevytápěným půdním prostorem, lze zateplení provést prostým položením tepelného izolantu na stropní konstrukci. Jako izolační materiál se v takových případech využívá minerální (případně skelná) vlna nebo pěnový polystyren. V případě použití minerální či skelné vlny je pro zajištění pochozí půdy třeba instalovat také záklop z prken či z OSB desek buď po celém povrchu, nebo alespoň formou chodníčků tak, aby byla všechna místa půdy přístupná. Je vhodné také zohlednit prostup vlhkosti konstrukcí a instalovat pod tepelnou izolaci parozábranu. V případě navlhnutí skelné či minerální vlny vlivem kondenzace vodních par může dojít k významnému nárůstu její tepelné vodivosti. Tyto komplikace odpadají v případě, že je za tepelný izolant zvolen pěnový polystyren. Ten je sám o sobě velmi málo nasákavý a povrch takto zatepleného stropu je pochozí. Je vhodné klást izolaci aspoň ve dvou vrstvách s překrytím spár. Nevýhodou pěnového polystyrenu je horší požární odolnost v porovnání s minerální či skelnou vlnou.

V případě, že není možné izolovat stropní konstrukce výše uvedeným způsobem, lze provádět zateplení z prostoru interiéru. Je-li na strop zavěšen podhled, může být tepelná izolace vložena mezi podhled a nosnou stropní konstrukci. Častěji však podhled instalován není a vnitřní zateplení lze provést kontaktním způsobem. Tepelný izolant (nejčastěji EPS) je celoplošně nalepen cementovým lepidlem a ukotven talířovými hmoždinkami. Pohledová vrstva je složena z armovací tkaniny a omítky s nátěrem. Tato metoda s sebou nese nevýhody vnitřního zateplení. Mezi nejvýznamnější patří snížení světlé výšky, zhoršení tepelně akumulčních vlastností stropních konstrukcí a riziko kondenzace vodních par v konstrukci.

Má-li strop vzduchové dutiny, je vhodnou metodou jeho zateplení použití foukané izolace do těchto dutin. Jako tepelný izolant lze zde použít konopí, dřevovláknité izolace, minerální vlnu a další. Tloušťka takové izolace je však omezena pouze tloušťkou dutin a stropní konstrukce bude obsahovat značné množství tepelných mostů v místech nosných stropních trámů. Je tedy vhodné tuto metodu kombinovat například se zateplením položením tepelné izolace na povrch stropu.

V případě trémových stropů bývá zateplení prováděno skelnou či minerální vlnou s oboustranným zaklopením. Vnitřní záklop bývá nejčastěji prováděn sádkartonovými deskami a je nutné jej opatřit parozábranou bránící navlhání tepelného izolantu. Na horní záklop pro pochozí podlahy se často používají OSB desky dostatečné tloušťky.

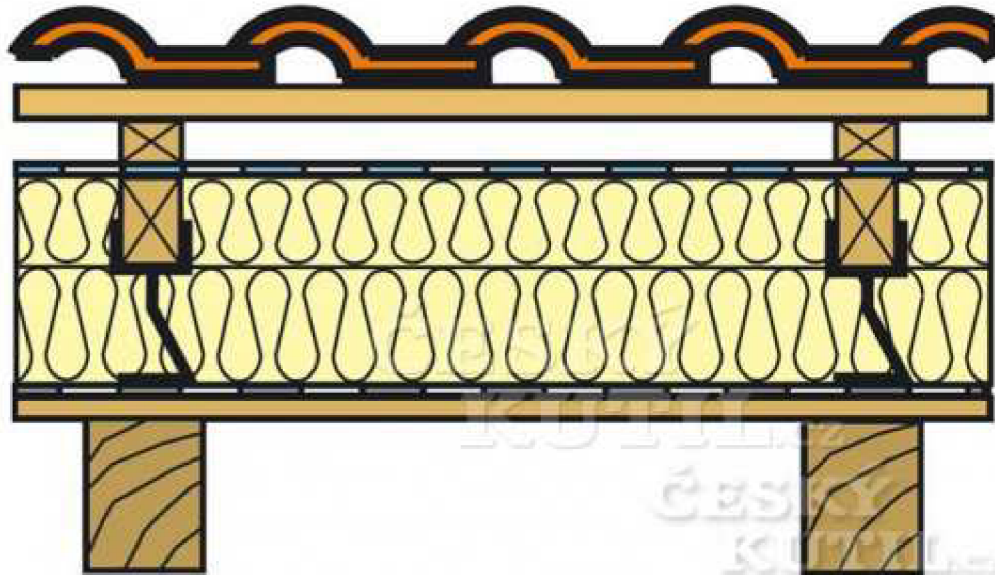


Obr. 14: Aplikace foukané izolace [18]

3.2.4. Střechy

Šikmá střecha tvořená dřevěným krovem může být zateplena třemi způsoby. Tepelná izolace může být umístěna nad krokviemi, mezi krokviemi nebo pod krokviemi. U nadkrokevního zateplení je tepelná izolace umístěna nad krokviemi pomocí nadkrokevního držáku a přídavných krokví (viz Obr. 15). Z hlediska provádění je jednodušší umístění tepelné izolace mezi krokve nebo pod ně. Mezi tepelný izolant a střešní krytinu je nutno umístit pojistnou hydroizolaci pro případ, že by dešťová voda protekla skrze krytinu. U provětrávané střechy je nutné mezi izolací a pojistnou hydroizolační fólií dodržet vzduchovou mezeru. Z hlediska prostupu vodních par je vhodné, aby hydroizolace byla dostatečně difuzně propustná. Naopak na interiérové straně je nutné instalovat difuzně nepropustnou parozábranu. Jako tepelně izolační materiál je nejčastěji používána minerální či skelná vlna. Při aplikaci izolantu mezi krokve se vlna řeže na šířky větší než je šířka prostoru mezi krokviemi a vlivem vlastní pružnosti se vlna do prostoru vtěsná. Při aplikaci podkrokevní izolace

se na krokve kolmo přibijí kontralatě stejné tloušťky jako je požadovaná tloušťka izolace a ta se pak podobně jako mezikrokevní izolace vkládá mezi kontralatě. Po nanesení parozábrany je provedeno finální opláštění podkroví. Pro tento účel je nejčastěji využíváno sádkartonových desek, případně desek z recyklovaného dřeva (dřevoštěpkové desky, OSB desky apod.).



Obr. 15: Nákres šikmé střechy zateplené nadkrokevní tepelnou izolací [19]

3.2.5. Výplně otvorů

Výplně otvorů jsou z hlediska zlepšování tepelně izolačních vlastností obálky budovy specifické tím, že se nezlepšuje součinitel prostupu tepla stávajících výplní, ale nevyhovující výplně se nahrazují novými s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi. V případě výměny dveří bez skleněné výplně či garážových vrat je stanovení součinitele prostupu tepla jednodušší než u výplní otvorů se zasklením – nejčastěji tedy u oken. U oken je třeba pro výpočet výsledného součinitele prostupu tepla U_w znát nejen plochu a tepelně technické vlastnosti samotného zasklení a rámu okna, ale také obvod zasklení a lineární činitel prostupu tepla. Součinitel prostupu tepla okna se stanoví vztahem [20]:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + I_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f},$$

kde:

A_g ...celková plocha zasklení okna [m^2],

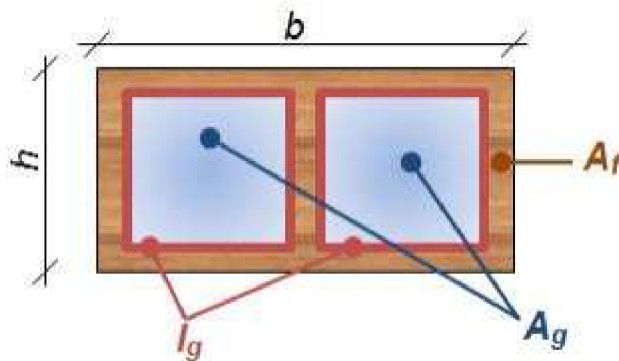
U_g ...součinitel prostupu tepla zasklením okna [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

A_f ...celková plocha rámu okna [m^2],

U_f ... součinitel prostupu tepla rámu okna [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],

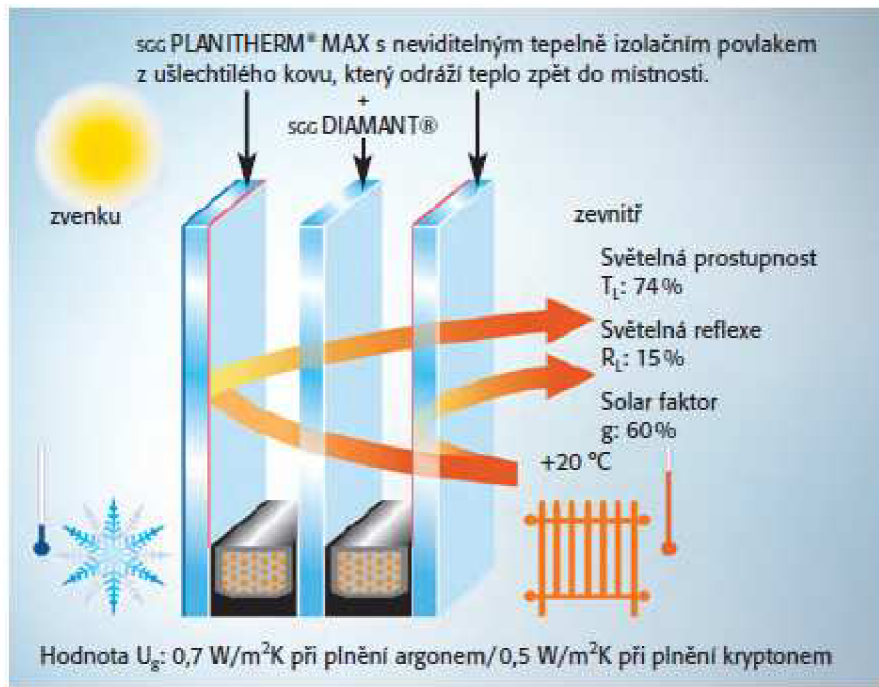
l_g ...viditelný obvod zasklení [m],

ψ_g ... lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$].



Obr. 16: Schéma okna pro výpočet součinitele prostupu tepla U_w [20]

V současné době je na trhu celá řada oken od mnoha výrobců. Nejčastější využití pro výměnu stávajících oken nachází okna z různých materiálů rámu (plast, dřevo, hliník a další) s izolačními dvojskly či trojskly. Výhodou instalace okna s izolačním trojsklem oproti dvojsklu je nižší součinitel prostupu tepla U_w , ale taková okna mívají kromě vyšší ceny také mnohem větší hmotnost a jejich instalace a manipulace s nimi je tedy mnohem náročnější. Pro zlepšení tepelně technických vlastností okna může být na zasklení nanесena kovová vrstva, která sice snižuje součinitel prostupu tepla U_w , ale snižuje se také příjem tepla slunečním zářením.



Obr. 17: Schéma okna s izolačním trojsklem s pokovením vnějších skel [21]

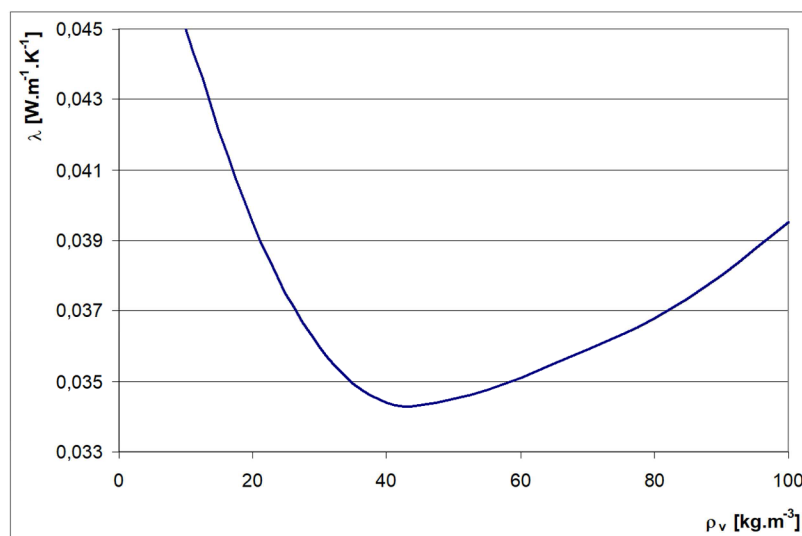
Důležitým faktorem při volbě oken je také solární faktor. Solární faktor g udává celkový vstup sluneční energie přes zasklení. Hodnota solárního faktoru bývá u trojskel nižší než u dvojskel.

Významná je u oken také jejich těsnost. Jelikož k výrazné tepelné ztrátě dochází kromě ztráty vstupem konstrukcemi také větráním, nelze tyto charakteristiky u oken zanedbat a je nutno je zohlednit při výběru okna i při stanovování energetické náročnosti budov po výměně oken.

4. NOVODOBÉ STAVEBNÍ IZOLANTY

V posledních letech se vývoj nových tepelných izolačních materiálů projevuje uvedením nových izolačních materiálů na trh. Příkladem jsou šedé pěnové polystyreny NeoFloor a GreyWall od společnosti Rigips, s.r.o. nebo šedý polystyrén NEOPOR od firmy BASF. Principem šedých polystyrenů je zpracování grafitových částic do jejich struktury. Tyto částice pomáhají účinně odrážet sálavou složku tepla zpět ke zdroji a podstatně tak zlepšují tepelně izolační vlastnosti polystyrenu.

Empiricky bylo zjištěno, že součinitel tepelné vodivosti expandovaného polystyrenu klesá v závislosti na objemové hmotnosti přibližně do hodnoty $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (viz Obr. 18).



Obr. 18: Závislost součinitele tepelné vodivosti λ EPS na jeho objemové hmotnosti ρ_v [22]

Tato závislost je způsobena tím, že se teplo ve struktuře expandovaného polystyrenu šíří radiací. Vzduch, který tvoří většinu pěnového polystyrenu, tak významně ovlivňuje tepelnou vodivost EPS. Ta je kromě tepelné vodivosti vzduchu dána také vodivostí pevné složky pěny a propustností pěny pro šíření tepla sáláním (zářením). Vlnová délka tepla, jakožto elektromagnetického záření, se v závislosti na teplotě sálajícího tělesa pohybuje okolo $10 \mu\text{m}$ (Např. při teplotě $21 \text{ }^\circ\text{C}$ převažuje složka s délkou vlny $9,85 \mu\text{m}$, při teplotě $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ pak vlna o délce $11,5 \mu\text{m}$ [23]). Sálavá složka tepla snadno prochází strukturou expandovaného polystyrenu a tím dochází vedle vedení tepla k významnému přenosu tepla sáláním. Sálavou složku šíření tepla lze tedy snížit zvýšením objemové hmotnosti EPS (při tom dojde ke zvýšení tepelné vodivosti pevné složky pěny, ve výsledku však jde o zanedbatelné hodnoty), nevýhodou však je nutnost použít větší množství materiálu, což se projevuje zvýšením ceny izolantu.

Řešením, se kterým přišla firma BASF [38], je snížení optické propustnosti v pásmu okolo 10 μm . Pro tento účel byl použit grafit velmi jemně rozemletý až na částice v řádu nanometrů. Grafitové částice jsou rovnoměrně dispergovány v pevné fázi expandovaného polystyrenu a účinkují jako mikroskopické absorbéry a zároveň i reflektory. Pro namletí částic tak, aby vzdálenost mezi nimi byla menší než 10 mikrometrů a zároveň aby se částice nedotýkaly, musí být zvolena vhodná nanotechnologie.

Jsou-li tyto podmínky dodrženy, stane se membrána napěněné polystyrenové buňky těžko prostupná pro dlouhovlnné tepelné záření a zároveň se zlepší odrazivost prostředí, jelikož grafit vytváří na membránách polystyrenových kuliček povrch, který funguje jako tepelné zrcadlo. Protože se navzájem grafitové částice nedotýkají, nenarůstá tepelná vodivost vzniklého materiálu. Vysoká odrazivost a nízká emisivita záření snižují intenzitu sálání z povrchu izolantu, což je také žádoucí.

Výsledný materiál má šedou barvu a při objemové hmotnosti $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vykazuje součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,032 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Pro srovnání, pokud by takové hodnoty tepelné vodivosti měl dosáhnout klasicky expandovaný polystyren, musel by mít objemovou hmotnost $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, čili více než dvojnásobnou. Výroba těžšího EPS bez přidaného grafitu je tedy nevýhodnější jak z ekonomického tak z ekologického hlediska.



Obr. 19: Šedý expandovaný polystyren Isover [24]

PRAKTICKÁ ČÁST

5. TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ VYBRANÉHO STAVEBNÍHO OBJEKTU

Pro experimentální část této diplomové práce je zvolen dvoupatrový rodinný dům v Albrechticích u Českého Těšína v okrese Karviná. Posuzovaný objekt byl zaměřen a byly zjištěny (či v případě nedostupných prostor odhadnuty) skladby jednotlivých konstrukcí, které tvoří obálku budovy, a vypočteny jejich plochy. Výsledné součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí jsou vypočteny pomocí programu Microsoft Excel dle normových postupů [3]. Geometrické uspořádání objektu (tedy objem budovy, celková energeticky vztažná plocha, plochy obálkových konstrukcí) a jejich jednotlivé součinitele prostupu tepla jsou spolu s informacemi o technickém zařízení budovy (TZB), které je popsáno v kapitole 5.3., zadány do programu Energie 2016 EDU, kde je mimo jiné vypočtena roční energetická náročnost objektu a roční produkce oxidu uhličitého, který provozem budovy vzniká.

Složkami energie spotřebované v budově jsou energie potřebná na vytápění budovy, energie potřebná na přípravu teplé vody a energie potřebná na umělé osvětlení budovy. Vytápění budovy a příprava teplé vody je zajištěna pomocí plynového kotle, jediným energonositelem pro tyto dvě složky energie je tedy zemní plyn. Umělé osvětlení budovy je zajištěno pomocí žárovkových svítidel a jediným energonositelem pro osvětlení je tedy elektrická energie. Do celkové spotřeby energie v budově není zahrnuta spotřeba elektrické energie potřebná pro chod elektrospotřebičů (pračka, lednice, televize, počítač apod.) ani spotřeba zemního plynu plynového sporáku, a to ze dvou důvodů. Prvním důvodem je to, že nelze přesně stanovit chování uživatelů budovy, tedy jak často a v jaké míře jednotlivé elektrospotřebiče či plynový sporák využívají. Druhým důvodem je to, že chod těchto spotřebičů je pro provoz rodinného domu nezbytný a pro pohodlné bydlení nelze jejich provoz omezovat. Snížení spotřeby energie by tedy bylo možné pouze použitím energeticky šetrnějších spotřebičů.

Vzhledem k tomu že v rámci této diplomové práce je uvažováno se zateplením budovy, dochází pouze ke snížení spotřeby energie na vytápění. Jediným energonositelem, jehož spotřeba je snižována, je tedy zemní plyn.

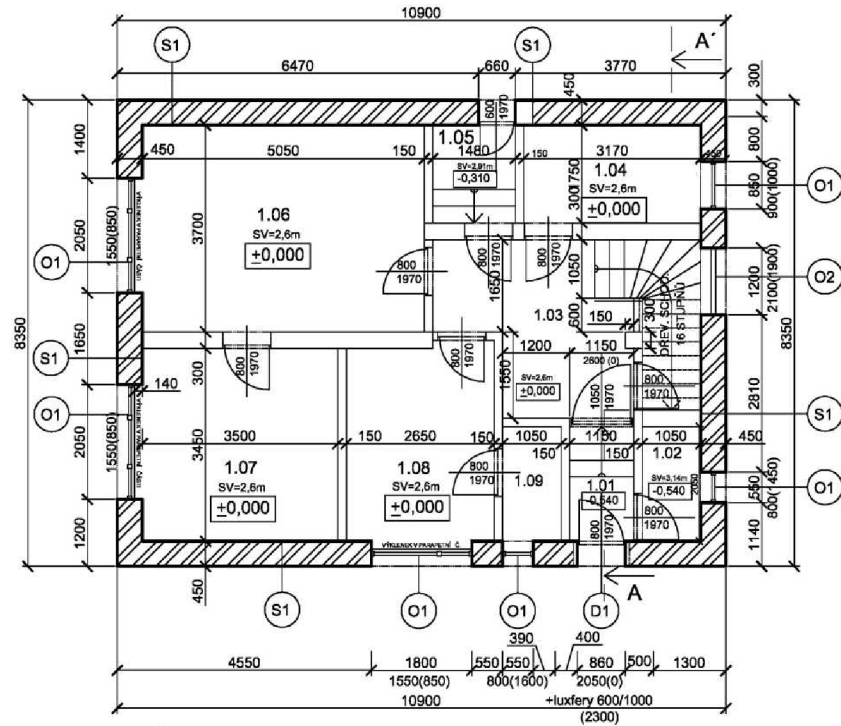
5.1. Popis stavební části hodnoceného objektu

Hodnocený objekt je dvoupodlažní, částečně podsklepený s celkovou energeticky vztažnou plochou 182,03 m². Objem vnitřních prostor budovy je 1010,3 m³. Budova má obdélníkový půdorys o rozměrech 10,9×8,35 m. Podlaha na zemině (P1) je tvořena keramickou dlažbou na cementovém potěru, hydroizolaci a podkladní betonové desce tloušťky 100 mm. Podlahové konstrukce nad nevytápěným prostorem sklepu (P2) jsou tvořeny nášlapnou vrstvou z keramické dlažby či linolea, cementového potěru, železobetonové nosné desky tloušťky 250 mm, která je zesponu omítnuta vápennou omítkou. Obvodové konstrukce (Z1) jsou tvořeny zdivem z cihel plných pálených kladených na vápenocementovou maltu. Zdivo má tloušťku 450 mm a je z interiéru omítnuto vápennou a z exteriéru břizolitovou omítkou. Střešní konstrukci tvoří eternitová krytina, hydroizolace, záklop a nosná konstrukce z krokví. Pod střechou se nachází nevytápěný prostor a ten je od vytápěného prostoru druhého nadzemního podlaží oddělen stropní konstrukcí (St2), která se skládá ze záklopu, provětrávané vzduchové mezery a nosných stropních trámů, rákosové rohože a z vnitřní vápenné omítky. Výplně otvorů v obvodové stěně jsou tvořeny zdvojenými dřevěnými okny (O1), luxfery (O2) a vstupními dřevěnými dveřmi (D1).

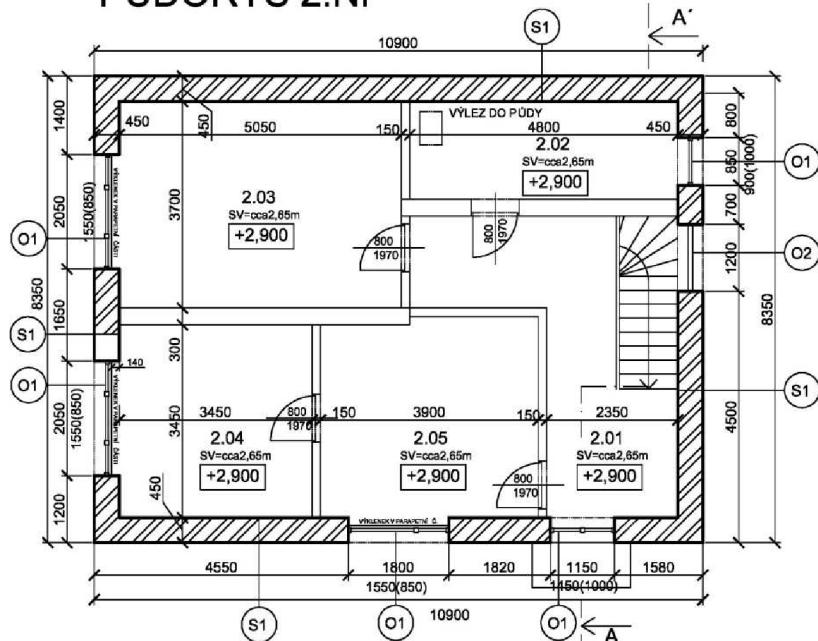


Obr. 20: Fotografický snímek posuzovaného rodinného domu

PŮDORYS 1.NP



PŮDORYS 2.NP

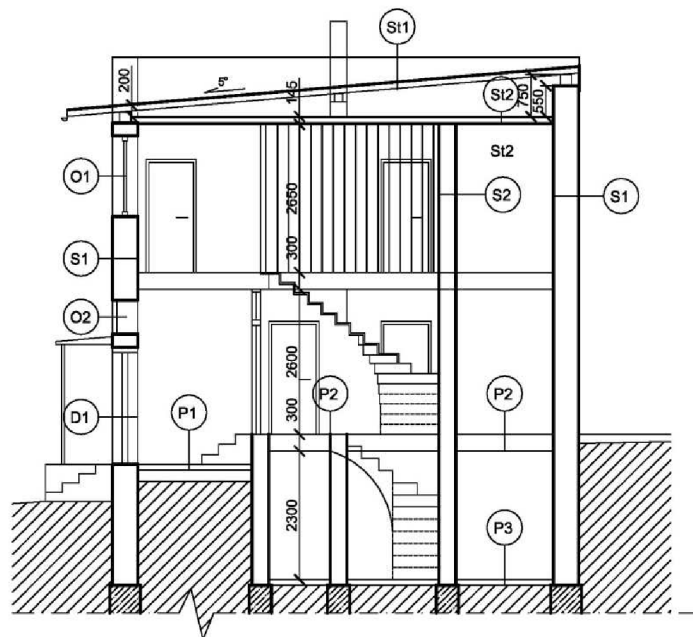


- D1 - DVEŘE VSTUPNÍ DŘEVĚNÉ
- O1 - OKNA DŘEVĚNÁ ZDOJENÁ
- O2 - SKLENĚNÉ TVÁRNICE "LUXFERY"
- S1 - STĚNA OBVODOVÁ Z CPP tl. 450 mm



Obr. 21: Půdorys 1.NP a 2.NP rodinného domu

ŘEZ BUDOVOU



S1 - STĚNA OBVODOVÁ

omítka vápenná	10 mm
zdivo z cihel plných pálených	450 mm
břizolit	25 mm

S2 - STĚNA VNITŘNÍ NOSNÁ

omítka vápenná	10 mm
zdivo z cihel plných pálených	300 mm
břizolit	25 mm

St1 - STŘECHA

hydroizolace	3 mm
dřevěný záklop	25 mm
krokve 100x100 a 960 mm	100 mm

St2 - STROP POD PŮDOU

dřevěný záklop	25 mm
vzduchová dutina	
s trámy 200x260 a 800 mm	260 mm
rákosová rohož	5 mm
omítka vápenná	10 mm

P1 - PODLAHA VSTUP

keramická dlažba	10 mm
cementový potěr	50 mm
hydroizolace	2 mm
betonová deska	100 mm
škvárový podsyp	150 mm

P2 - PODLAHA NAD SUTERÉNEM

nášlapné vrstvy (keramická dlažba, linoleum)	10 mm
cementový potěr	30 mm
ŽB nosná konstrukce	250 mm
omítka vápenná	10 mm

P3 - PODLAHA SUTERÉNU

betonová podlaha	100 mm
------------------	--------

D1 - DVEŘE VSTUPNÍ DŘEVĚNÉ

O1 - OKNA DŘEVĚNÁ ZDVOJENÁ

O2 - SKLENĚNÉ TVÁRNICE "LUXFERY"

Obr. 22: Řez budovou a skladba konstrukcí

5.2. Stanovení součinitele prostupu tepla obálkových konstrukcí

Dle normových postupů [3] byly stanoveny součinitele prostupu tepla obálkových konstrukcí. Obálku budovy tvoří podlaha na zemině označená jako P1, která vykazuje součinitel prostupu tepla $U = 3,208 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, podlaha nad suterénem s označením P2 a součinitelem prostupu tepla $U = 1,778 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, obvodové zdivo označené Z1 mající součinitel prostupu tepla $U = 1,272 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a strop pod nevytápěnou půdou označený jako St2 se součinitelem prostupu tepla $U = 2,727 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Stropní konstrukce není brána jako obálková konstrukce, protože netvoří hranici vytápěného prostoru.

Podlaha na zemině						
P1	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	0,312	3,208	0,45
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	50	1,800	0,028			
Hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,00			

Podlaha nad suterénem						
P2	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	0,562	1,778	0,6
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Obvodové zdivo						
Z1	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	0,786	1,272	0,3
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Břizolitová omítka	25	0,900	0,028			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Strop pod nevytápěným prostorem						
St2	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	0,367	2,727	0,6
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Dřevěné trámy	260	-*	-			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

* U dřevěných trámů není uveden součinitel tepelné vodivosti, protože se nevyskytují na celé ploše stropní konstrukce

Tab. 2: Soubor tabulek stanovení součinitele prostupu tepla obálkových konstrukcí

Dle přiložených výkresů byly stanoveny také plochy jednotlivých konstrukcí a dle stavu oken a dveří byly odhadnuty součinitele prostupu tepla otvorových výplní. Přehledný soupis ploch a součinitelů prostupu tepla, který následně vstupuje do výpočtu energetické náročnosti stávajícího stavu budovy, je uveden v Tab. 3.

SOUPIS PLOCH A SOUČINITELŮ PROSTUPU TEPLA JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ				
ozn.	popis konstrukce	plocha A [m ²]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	doporučený součinitel prostupu tepla U _{N,20} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
P1	Podlaha na zemině	28,0675	3,208	0,3
P2	Podlaha nad suterénem	62,9475	1,778	0,4
Z1	Obvodová stěna	207,694	1,272	0,2
St2	Strop pod půdou	91,015	2,727	0,4
O1 S	Okna dřevěná zdvojená, orientace na sever	12,71	2,400	1,2
O1 J	Okna dřevěná zdvojená, orientace na jih	1,97	2,400	1,2
O1 Z	Okna dřevěná zdvojená, orientace na západ	7,6875	2,400	1,2
O2 J	Luxfery, orientace na jih	2,52	2,350	1,2
O2 Z	Luxfery, orientace na západ	0,6	2,350	1,2
D1 V	Vstupní dveře dřevěné, orientace na východ	1,32	2,500	1,2
D1 Z	Vstupní dveře dřevěné, orientace na západ	1,763	2,500	1,2

Pozn.: Okna jsou v Tab. 3 rozdělena dle orientace vůči světovým stranám kvůli solárním ziskům, v dalších tabulkách, které jsou výstupy programu Energie, jsou plochy oken sloučeny.

Tab. 3: Soupis ploch a součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí

5.3. Popis provozní a TZB části hodnoceného objektu

Zjištěné a vypočtené údaje byly zadány jako vstupní údaje do programu Energie 2016 EDU. Spolu s těmito údaji ze stavební části byly požadovány i další informace o technickém zařízení budovy a provozu objektu.

Dle zákonné vyhlášky [25] je objekt posuzován jako nová obytná budova s obsazeností 40 m²·osoba⁻¹. Při celkové energeticky vztahné ploše 182,03 m² tedy platí předpoklad, že se v budově vyskytuje 4-5 osob, což odpovídá realitě, neboť budovu jako trvalé bydliště využívá čtyřčlenná rodina. Okrajové podmínky jsou stanoveny dle typických normových hodnot [26] pro okres Karviná, ve kterém se obec Albrechtice nachází. Pro zohlednění tepelné akumulace jsou obvodové konstrukce posuzovány jako těžké s tepelnou kapacitou 260 kJ·K⁻¹·m⁻². Pro zohlednění tepelných vazeb je uvažováno s 10% přírůžkou.

Z hlediska vnitřních zisků a osvětlení je uvažováno, že se v budově vyskytují osoby po 70 % času a produkce tepla osobami je 1,5 W·m⁻². Spotřebiče jsou zapnuté po 20 % času a produkují 3 W·m⁻². Osvětlení je zajištěno pomocí žárovkových svítidel s účinností 4 %. Požadovaná osvětlenost objektu je 50 lx a předpokládaná měrná roční dodaná elektrická energie na osvětlení je 4,5 kWh·m⁻²·rok⁻¹.

Větrání budovy je přirozené a intenzita výměny vzduchu je $0,5 \text{ hod}^{-1}$. Budova není chlazená.

Vytápění objektu je zajištěno pomocí klasického plynového kotle o výkonu 24 kW s účinností výroby tepla 89 %. Topná voda je vedena ocelovými rozvody k žebrovým otopným tělesům. Pro sdílení a distribuci tepla je také uvažováno s účinností 89 %.

Příprava teplé vody je zajištěna stejným plynovým kotlem, který slouží k vytápění. V budově je instalován zásobník teplé vody o objemu 200 l. Měrná ztráta zásobníku je $7 \text{ Wh}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$. Předpokládaná spotřeba teplé vody je $10 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. Je uvažováno s ohřevem studené vody o průměrné teplotě 10°C na 55°C a délka rozvodů teplé vody je odhadnuta na 20 m.

Jedinými energonositeli v budově jsou elektrická energie a zemní plyn. Dle [25] je faktor neobnovitelné primární energie u elektřiny 3,0 a u zemního plynu 1,1; faktor celkové primární energie u elektřiny i zemního plynu 1,1 a součinitel emisí CO_2 u elektřiny $1,012 \text{ kg}\cdot\text{kWh}^{-1}$ a u zemního plynu $0,199 \text{ kg}\cdot\text{kWh}^{-1}$.

Vstupní údaje zadané do programu Energie 2016 EDU pro podlahu na zemině (P1) jsou uvažovány následovně. Součinitel tepelné vodivosti zeminy je $\lambda = 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, vliv spodní vody je zanedbán, plocha podlahy P1 je $28,07 \text{ m}^2$, exponovaný obvod $16,05 \text{ m}$, tepelný odpor $R = 0,142 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$. Podlaha není opatřena okrajovou izolací a tloušťka obvodové stěny je 450 mm.

Pro podlahu nad suterénem (P2) bylo potřeba zadat více údajů. Stejně jako u podlahy P1 je součinitel tepelné vodivosti zeminy $\lambda = 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a vliv spodní vody je zanedbán. Plocha podlahy je $62,95 \text{ m}^2$, exponovaný obvod $24,45 \text{ m}$, tloušťka suterénní stěny 450 mm, tepelný odpor podlahy nad suterénem $0,222 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ a tepelný odpor podlahy suterénu $0,2562 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ (zde je uvažováno, že je podlaha suterénu tvořena betonovou deskou tloušťky 100 mm se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 1,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Tepelný odpor stěn pod i nad suterénem je $0,786 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$, objem vzduchu v suterénu $117,3 \text{ m}^3$, intenzita větrání $0,5 \text{ hod}^{-1}$, horní výška podlahy nad terénem 0 m, plocha vytápěného prostoru suterénu 0 m^2 a hloubka podlahy suterénu pod úroveň okolního terénu 2,6 m.

Strop je uvažován jako konstrukce rozdělující vytápěný a nevytápěný prostor a součinitel teplotní redukce je roven $b = 0,7429$.

Oba dva typy oken v rodinném domě (O1 – zdvojená dřevěná okna se součinitelem prostupu tepla $U_w = 2,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a O2 – luxfery se součinitelem prostupu tepla

$U_w = 2,35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) mají propustnost slunečního záření 0,85 a korekční činitel zasklení 0,7. Není uvažováno se cloněním ani stíněním ostatními budovami. Vstupní dřevěné dveře se součinitelem prostupu tepla $U = 2,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ mají propustnost slunečního záření 0,85 a korekční činitel zasklení 0,3.

Je uvažováno s následujícími teplotami:

- $t_i = 20 \text{ °C}$... návrhová vnitřní teplota v interiéru přilehlém k dané konstrukci [3],
- $t_{im} = 20 \text{ °C}$... převažující vnitřní návrhová teplota [3],
- $t_e = -15 \text{ °C}$...návrhová venkovní teplota [3],
- $t_u = -6 \text{ °C}$...návrhová teplota v přilehlém nevytápěném prostoru [27].

Z těchto hodnot vychází vztah pro činitel teplotní redukce b u stropní konstrukce:

$$b = \frac{t_i - t_u}{t_{im} - t_e}$$

5.4. Vypočtené hodnoty původního stavu budovy

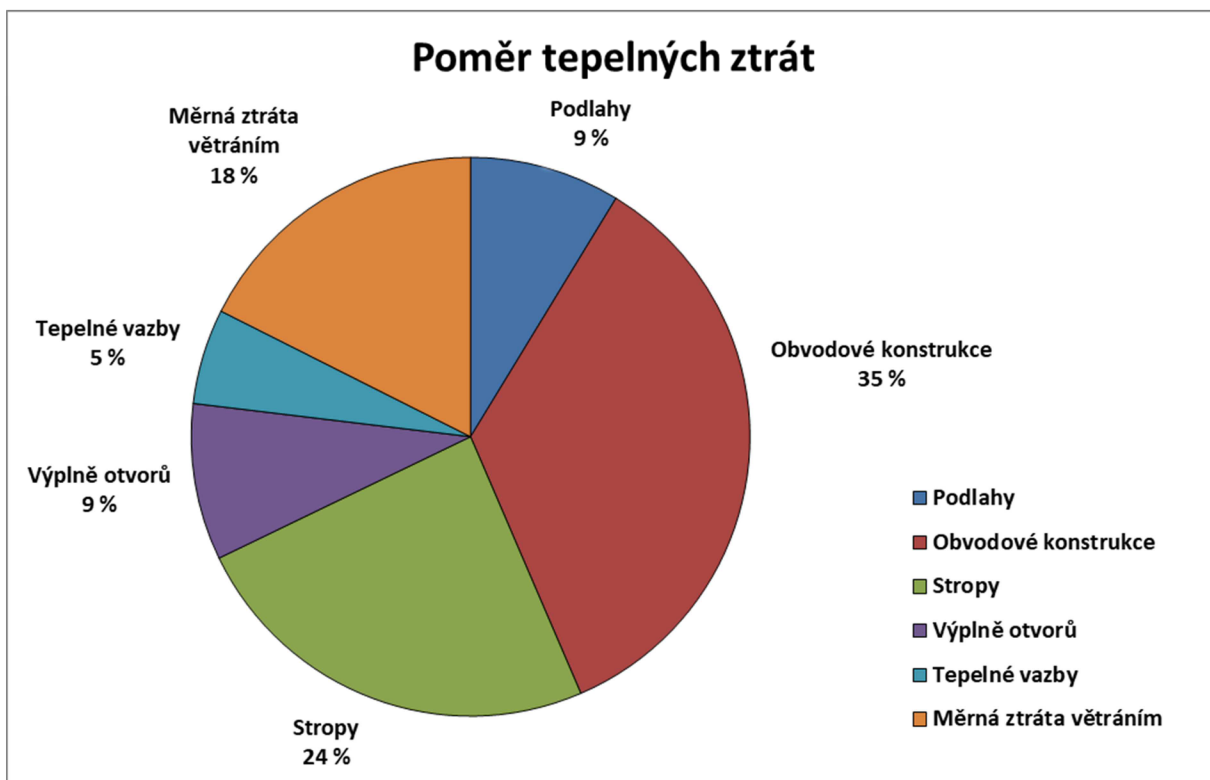
Vybrané vypočtené hodnoty z programu Energie 2016 EDU jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 4: Měrné tepelné ztráty prostupem jednotlivých konstrukcí

Ochlazovaná konstrukce		Plocha A [m ²]	Součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Požadovaný součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Doporučený součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Činitel teplotní redukce b [-]	Měrná ztráta prostupem H _T [W/K]
P1	Podlaha na zemině	28,1	3,208	0,45	0,3	0,24	21,8
P2	Podlaha nad suterénem	62,9	1,778	0,6	0,4	0,40	44,3
Z1	Obvodová stěna	207,7	1,272	0,3	0,2	1,00	264,2
St2	Strop pod půdou	91,0	2,727	0,6	0,4	0,74	184,4
O1	Okna dřevěná zdojená	22,4	2,4	1,5	1,2	1,00	53,7
O2	Luxfery	3,1	2,35	1,5	1,2	1,00	7,3
D1	Dveře dřevěné vstupní	3,1	2,5	1,5	1,2	1,00	7,7
Tepelné vazby							41,8
Celkem		418,3					625,2

Tab. 5: Poměr tepelných ztrát hodnocené budovy

Typ konstrukce	Měrná ztráta tepla H _T [W/K]	Procentuální poměr [%]
Podlahy	66,1	8,71
Obvodové konstrukce	264,2	34,82
Stropy	184,4	24,31
Výplně otvorů	68,7	9,06
Tepelné vazby	41,8	5,51
Měrná ztráta větráním	133,4	17,58
Celkem	758,6	100



Obr. 23: Grafické znázornění poměru tepelných ztrát stávajícího stavu budovy

Tab. 6: Energie spotřebovaná v posuzované budově

Druh energie	[GJ·rok ⁻¹]	[MWh·rok ⁻¹]
Energie na vytápění	350,437	97,344
Energie na přípravu teplé vody	6,630	1,842
Energie na osvětlení	2,653	0,737
Celkem	359,720	99,922

Tab. 7: Výpočet vyprodukovaných emisí CO₂ v budově

Energonositel	Q_f [MWh·rok ⁻¹]	Q_{pN} [MWh·rok ⁻¹]	Q_{pC} [MWh·rok ⁻¹]	emise CO ₂ [t·rok ⁻¹]
Elektrina	0,737	2,211	2,358	0,746
Zemní plyn	99,185	109,104	109,104	19,738
Celkem	99,922	111,315	111,462	20,484

Q_f ...energie dodaná do budovy příslušným energonositelem [MWh·rok⁻¹],

Q_{pN} ...neobnovitelná primární energie [MWh·rok⁻¹],

Q_{pC} ...celková primární energie použita příslušným energonositelem [MWh·rok⁻¹],

emise CO₂...emise CO₂, které vznikají ročně vlivem provozu budovy [t·rok⁻¹].

5.5. Návrh opatření pro zlepšení energetické náročnosti objektu

V této kapitole jsou vybrána konkrétní opatření pro zlepšení tepelně izolačních vlastností všech konstrukcí, které tvoří obálku budovy. Pro podlahové konstrukce na zemině, podlahy nad nevytápěným sklepem, stropní konstrukce a obvodové stěny je vybráno šest opatření ze tří různých izolačních materiálů. Tloušťka tepelných izolantů v jednotlivých opatřeních je volena tak, aby pro každý materiál bylo dosaženo v jednom případě hodnoty požadovaného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle normových požadavků (viz Tab. 8 [3]) a v druhém případě doporučeného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle stejné normy. U výplní otvorů je postupováno obdobně a doporučeného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ je dosaženo u pěti různých typů otvorových výplní.

Tab. 8: Přehled normových hodnot součinitele prostupu tepla U_N jednotlivých konstrukcí [3]

NORMOVÉ HODNOTY SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA U_N [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]				
Budova běžná s převažující návrhovou vnitřní teplotou $t_{im} = 18^\circ C$ až $20^\circ C$		Požadované $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Doporučené $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Doporučené hodnoty pro pasivní domy $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Typ konstrukce				
Střecha plochá a šikmá do 45° včetně		0,24	0,16	0,15-0,10
Strop nad venkovním prostorem, s podlahou				
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)		0,30	0,20	0,15-0,10
Vnější stěna lehká (těžká) - vnější vrstvy od vytáp. Střecha strmá se sklonem 45° lehká (těžká)		0,30	0,20 (0,25)	0,18-0,12
Stěna k nevytápěné půdě				
Podlaha a stěna vytápěného prostoru k zemině (bez vlivu zeminy)		0,45	0,30	0,22-0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k nevytápěnému prostoru		0,60	0,40	0,30-0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k temperovanému prostoru		0,75	0,50	0,38-0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k vnějšímu prostoru				
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině		0,85	0,55	0,45-0,25
Stěna mezi sousedními budovami		1,05	0,70	0,50
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do $10^\circ C$ vč.				
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do $10^\circ C$ vč.		1,30	0,90	-
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do $5^\circ C$ vč.		2,20	1,45	-
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do $10^\circ C$ vč.		2,70	1,80	-
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří		1,50	1,20	0,80-0,60
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° , z vytápěného prostoru do venkovního prostředí		1,40	1,10	0,90
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)		1,70	1,20	0,90
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru		3,50	2,30	1,70
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí				
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí		2,60	1,70	1,40
Kovový rám výplně otvoru		-	1,80	1,00
Nekovový rám výplně otvoru		-	1,30	0,90-0,70
Rám lehkého obvodového pláště		-	1,80	1,20
Lehký obvodový plášť, hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w/A$, jejich rámy s $U_f \leq U_w$		$f_w \leq 0,05$	$0,3 + 1,4 \cdot f_w$	$0,2 + f_w$
		$f_w > 0,05$	$0,7 + 0,6 \cdot f_w$	

5.5.1. Podlahy

Vzhledem k tomu, že je objekt částečně podsklepený, je podlaha rozdělena na podlahu na zemině a na podlahu nad nevytápěným prostorem sklepu.

5.5.1.1. Podlaha na zemině

Zateplení podlahy na zemině je komplikováno tím, že je třeba odstranit původní podlahovou krytinu, aplikovat tepelný izolant a znovu nanést novou podlahovou krytinu. Jde také o zásah do provozu budovy, během zateplování není možné tyto plochy využívat. Nevýhodné je také to, že při nanesení tepelného izolantu se mění výška podlahy a tedy i celková dispozice místností. Tento fakt je částečně zmírněn tím, že po zateplení je uvažováno s nižší tloušťkou roznášecí vrstvy - anhydritového potěru (30 mm oproti původním 50 mm).

Ve všech uvedených opatřeních je uvažováno s odstraněním původní keramické dlažby, cementového potěru a hydroizolace. Poté je instalována nová hydroizolační fólie z asfaltových pásů, vybraný tepelný izolant specifické tloušťky, hydroizolace z polyetylenových fólií, roznášecí vrstva z anhydritového potěru a nová keramická dlažba. Jednotlivá opatření jsou tvořena následujícími tepelnými izolanty:

- expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm a 120 mm,
- extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm a 120 mm a
- pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm a 120 mm.

5.5.1.2. Podlaha nad nevytápěným sklepem

Podlaha nad sklepem je výrazně jednodušší z hlediska zateplení, neboť je ve všech opatřeních uvažováno se umístěním tepelné izolace na spodní straně podlahy. Nevýhoda této metody spočívá v tom, že je takto omezena světlá výška ve sklepních prostorách. Vzhledem k původní světlé výšce 2300 mm a k požadavkům na výsledný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ dle normy [3] je maximální tloušťka tepelné izolace volena na 80 mm.

Provedení této metody zateplení spočívá v očištění podkladu, nanesení lepicí hmoty a okamžité aplikaci tepelného izolantu. Vzhledem k tomu, že se jedná o neobývané sklepní prostory, není třeba z estetických důvodů nanášet další vrstvy. Tepelné izolanty v jednotlivých opatřeních tvoří:

- desky z čedičové vlny Isover NF 333 tl. 50 mm a 80 mm,
- expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 50 mm a 80 mm a
- expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm a 80 mm.

5.5.2. Strop

Stropní konstrukce mezi vytápěným prostorem a nevytápěným prostorem pod střechou je ideální zateplovat aplikací tepelné izolace na horní stranu stropu. Nedochozí tak ke snížení světlé výšky obytných místností a jedná se o poměrně jednoduchý způsob zateplení. Na povrch stropu je nejprve potřeba položit polyetylenovou parozábranu DEKSEPAR, aby nedocházelo ke kondenzaci vodních par v tepelném izolantu. U měkkých izolantů ze skelné vlny je uvažováno také s instalací pochozích lávek z OSB desek, aby byla přístupná celá plocha stropu. Jednotlivá opatření jsou tvořena tepelnými izolanty ze:

- skelné vlny Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm a 80 mm,
- expandovaného polystyrenu Isover EPS 70 tl. 60 mm a 100 mm a
- šedého polystyrenu Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm a 70 mm.

5.5.3. Obvodové stěny

V případě zateplení obvodových stěn je uvažováno s technologií kontaktního zateplovacího systému ETICS. Na stávající zdivo je nanesen lepicí tmel a okamžitě je na něj přiložen tepelný izolant. Po zaschnutí lepidla je tepelná izolace zajištěna také talířovými hmoždinkami s plastovým trnem. Množství a délka hmoždinek se liší v závislosti na materiálu tepelné izolace a jeho tloušťce. Následně je natažena základní vrstva stěrkové hmoty, do které je vtlačena armovací tkanina. Po nanesení další vrstvy stěrkové hmoty a zaschnutí je provedena penetrace a omítnutí silikonovou omítkou. Pro jednotlivá opatření jsou jako vrstvy tepelné izolace voleny tyto materiály:

- expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm a 170 mm,
- desky z čedičové vlny Isover TF PROFI tl. 100 mm a 160 mm a
- expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm a 140 mm.

5.5.4. Výplně otvorů

Výplně otvorů tvoří specifickou skupinu v rámci obálkových konstrukcí. Pro zlepšení jejich vlastností je nutné staré otvorové výplně nahradit novými. Je uvažováno s pěti opatřeními, která jsou tvořena kombinací jednoho typu oken a jednoho typu dveří.

Tato opatření jsou zvolena následovně:

- Plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda,
- Plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem + dřevěné dveře Masonite,
- Plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem + bezpečnostní dveře Masonite B2,
- Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda a
- Dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA.

6. ZHODNOCENÍ VYBRANÝCH OPATŘENÍ

Tato kapitola je věnována hodnocení výše uvedených opatření z hlediska investičních nákladů a míry teoretických energetických úspor po jejich potenciálním provedení. Energetické úspory jsou vypočteny pomocí programu Energie 2016 EDU a porovnáním s původním stavem energetické náročnosti budovy. Z vypočtené energetické úspory je poté odvozena také úspora finanční a ekologická.

Tyto faktory jsou dány početně v závislosti na tržní ceně stavebních materiálů a prací, běžných cenách za jednotku zemního plynu a na množství CO₂, které při spotřebě zemního plynu vzniká.

Pro každé opatření u uvedených konstrukcí (podlaha na zemině, podlaha nad nevytápěným prostorem sklepu, strop, obvodové stěny a výplně otvorů) je uveden soubor tabulek, kde je postupně vypočten výsledný součinitel prostupu tepla U zateplené konstrukce, a jednotková cena bez DPH zateplení vztahovaná na 1 m² konstrukce.

6.1. Podlahy

Podlahové konstrukce jsou, jak je již výše uvedeno, rozděleny na podlahu na zemině a podlahu nad nevytápěným sklepem.

6.1.1. Podlaha na zemině

Uvažovaná plocha zatepované podlahy je 28,07 m².

Jednotlivá opatření jsou tvořena následujícími tepelnými izolanty:

- expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm a 120 mm,
- extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm a 120 mm a
- pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm a 120 mm.

Uvedené ceny vychází z nabídky stavebních firem a dodavatelů stavebních materiálů [12] [28] [29] [30].

Tab. 9: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm						
EPS 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{Si}			0,17	2,415	0,414	0,45
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Anhydritový potěr	30	1,200	0,025			
Hydroizolace - PE	0,07	0,100	0,001			
Isover EPS 100	80	0,038	2,105			
Asfaltová hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{Se}			0,00			

Tab. 10: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm						
EPS 120 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{Si}			0,17	3,467	0,288	0,3
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Anhydritový potěr	30	1,200	0,025			
Hydroizolace - PE	0,07	0,100	0,001			
Isover EPS 100	120	0,038	3,158			
Asfaltová hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{Se}			0,00			

Tab. 11: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm - výpočet U

Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm						
XPS 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{Si}			0,17	2,595	0,385	0,45
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Anhydritový potěr	30	1,200	0,025			
Hydroizolace - PE	0,07	0,100	0,001			
XPS FIBRAN 300-L	80	0,035	2,286			
Asfaltová hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{Se}			0,00			

Tab. 12: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm - výpočet U

Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm						
XPS 120 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{Si}			0,17	3,738	0,268	0,3
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Anhydritový potěr	30	1,200	0,025			
Hydroizolace - PE	0,07	0,100	0,001			
XPS FIBRAN 300-L	120	0,035	3,429			
Asfaltová hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{Se}			0,00			

Tab. 13: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm - výpočet U

Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm						
FG 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	2,415	0,414	0,45
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Anhydritový potěr	30	1,200	0,025			
Hydroizolace - PE	0,07	0,100	0,001			
FOAMGLAS W+F	80	0,038	2,105			
Asfaltová hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,00			

Tab. 14: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm - výpočet U

Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm						
FG 120 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	3,467	0,288	0,3
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Anhydritový potěr	30	1,200	0,025			
Hydroizolace - PE	0,07	0,100	0,001			
FOAMGLAS W+F	120	0,038	3,158			
Asfaltová hydroizolace	2	0,100	0,020			
Betonová deska	100	1,160	0,086			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,00			

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m^2 (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm	196
	Hydroizolace - asfaltový pás	71
	Anhydritový potěr (spotřeba na tl. 30 mm)	506
	Keramická dlažba	161
	Hydroizolace - polyetylenová fólie	4
PRÁCE	Bourací práce	90
	Pokládka hydroizolace a tepelného izolantu	80
	Nanášení roznášecí vrstvy (cementový potěr)	50
	Pokládka keramické dlažby	160
	Úklid, odvoz sutí	30
CELKEM		1348

Tab. 16: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m^2 (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm	291
	Hydroizolace - asfaltový pás	71
	Anhydritový potěr (spotřeba na tl. 30 mm)	506
	Keramická dlažba	161
	Hydroizolace - polyetylenová fólie	4
PRÁCE	Bourací práce	90
	Pokládka hydroizolace a tepelného izolantu	80
	Nanášení roznášecí vrstvy (cementový potěr)	50
	Pokládka keramické dlažby	160
	Úklid, odvoz sutí	30
CELKEM		1443

Tab. 17: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm	206
	Hydroizolace - asfaltový pás	71
	Anhydritový potěr (spotřeba na tl. 30 mm)	506
	Keramická dlažba	161
	Hydroizolace - polyetylenová fólie	4
PRÁCE	Bourací práce	90
	Pokládka hydroizolace a tepelného izolantu	80
	Nanášení roznášecí vrstvy (cementový potěr)	50
	Pokládka keramické dlažby	160
	Úklid, odvoz sutí	30
CELKEM		1358

Tab. 18: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm	309
	Hydroizolace - asfaltový pás	71
	Anhydritový potěr (spotřeba na tl. 30 mm)	506
	Keramická dlažba	161
	Hydroizolace - polyetylenová fólie	4
PRÁCE	Bourací práce	90
	Pokládka hydroizolace a tepelného izolantu	80
	Nanášení roznášecí vrstvy (cementový potěr)	50
	Pokládka keramické dlažby	160
	Úklid, odvoz sutí	30
CELKEM		1461

Tab. 19: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm	1118
	Hydroizolace - asfaltový pás	71
	Anhydritový potěr (spotřeba na tl. 30 mm)	506
	Keramická dlažba	161
	Hydroizolace - polyetylenová fólie	4
PRÁCE	Bourací práce	90
	Pokládka hydroizolace a tepelného izolantu	80
	Nanášení roznášecí vrstvy (cementový potěr)	50
	Pokládka keramické dlažby	160
	Úklid, odvoz sutí	30
CELKEM		2270

Tab. 20: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm	1677
	Hydroizolace - asfaltový pás	71
	Anhydritový potěr (spotřeba na tl. 30 mm)	506
	Keramická dlažba	161
	Hydroizolace - polyetylenová fólie	4
PRÁCE	Bourací práce	90
	Pokládka hydroizolace a tepelného izolantu	80
	Nanášení roznášecí vrstvy (cementový potěr)	50
	Pokládka keramické dlažby	160
	Úklid, odvoz sutí	30
CELKEM		2829

6.1.2. Podlaha nad sklepem

Uvažovaná plocha zateplované podlahy je 62,95 m².

Jednotlivá opatření jsou tvořena následujícími tepelnými izolanty:

- desky z čedičové vlny Isover NF 333 tl. 50 mm a 80 mm,
- expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 50 mm a 80 mm a
- expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm a 80 mm.

Uvedené ceny vychází z nabídky stavebních firem a dodavatelů stavebních materiálů [12] [28] [31] [32].

Tab. 21: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm - výpočet U

Čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm						
MW 50 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	1,787	0,560	0,6
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Isover NF 333	50	0,041	1,220			
Štuková omítka	5	0,800	0,006			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Tab. 22: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm - výpočet U

Čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm						
MW 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	2,518	0,397	0,4
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Isover NF 333	80	0,041	1,951			
Štuková omítka	5	0,800	0,006			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Tab. 23: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 50 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 50 mm						
EPS 50 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	1,817	0,550	0,6
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
styro EPS 70F	50	0,040	1,250			
Štuková omítka	5	0,800	0,006			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Tab. 24: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 80 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 80 mm						
EPS 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	2,567	0,390	0,4
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
styro EPS 70F	80	0,040	2,000			
Štuková omítka	5	0,800	0,006			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Tab. 25: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm - výpočet U

Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm						
EPS GR 40 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	1,858	0,538	0,6
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Šedý EPS Grey 100	40	0,031	1,290			
Štuková omítka	5	0,800	0,006			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Tab. 26: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - výpočet U

Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm						
EPS GR 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,17	3,148	0,318	0,4
Keramická dlažba	10	1,300	0,008			
Cementový potěr	30	1,800	0,017			
Železobeton	250	1,340	0,187			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Šedý EPS Grey 100	80	0,031	2,581			
Štuková omítka	5	0,800	0,006			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,17			

Tab. 27: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m^2 (bez DPH)
MATERIÁL	Čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm	225
	Lepicí hmota	74
PRÁCE	Montážní práce (očistění, lepení, instalace hmoždinek)	190
	Úklid, odvoz odpadního materiálu	26
CELKEM		515

Tab. 28: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm	360
	Lepicí hmota	74
PRÁCE	Montážní práce (očistění, lepení, instalace hmoždinek)	190
	Úklid, odvoz odpadního materiálu	26
CELKEM		650

Tab. 29: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 50 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 50	57
	Lepicí hmota	74
PRÁCE	Montážní práce (očistění, lepení, instalace hmoždinek)	190
	Úklid, odvoz odpadního materiálu	26
CELKEM		347

Tab. 30: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 80 mm	91
	Lepicí hmota	74
PRÁCE	Montážní práce (očistění, lepení, instalace hmoždinek)	190
	Úklid, odvoz odpadního materiálu	26
CELKEM		381

Tab. 31: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm	64
	Lepicí hmota	74
PRÁCE	Montážní práce (očistění, lepení, instalace hmoždinek)	190
	Úklid, odvoz odpadního materiálu	26
CELKEM		354

Tab. 32: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	127
	Lepicí hmota	74
PRÁCE	Montážní práce (očistění, lepení, instalace hmoždinek)	190
	Úklid, odvoz odpadního materiálu	26
CELKEM		417

6.2. Strop

Uvažovaná plocha zateplování stropu je 91,02 m².

Jednotlivá opatření jsou tvořena následujícími tepelnými izolanty na bázi:

- skelné vlny Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm a 80 mm,
- expandovaného polystyrenu Isover EPS 70 tl. 60 mm a 100 mm a
- šedého polystyrenu Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm a 70 mm.

Uvedené ceny vychází z nabídky stavebních firem a dodavatelů stavebních materiálů [12] [24] [29] [33].

Tab. 33: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm - výpočet U

Skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm						
MW 50 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	1,838	0,544	0,6
Isover UNIROL PROFI	50	0,034	1,471			
Parozábrana z polyetylenu	0,2	0,340	0,001			
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

Tab. 34: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm - výpočet U

Skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm						
MW 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	2,720	0,368	0,4
Isover UNIROL PROFI	80	0,034	2,353			
Parozábrana z polyetylenu	0,2	0,340	0,001			
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

Tab. 35: Strop - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 60 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 60 mm						
EPS 60 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	1,867	0,536	0,6
Isover EPS 70	60	0,040	1,500			
Parozábrana z polyetylenu	0,2	0,340	0,001			
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

Tab. 36: Strop - expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm						
EPS 100 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	2,867	0,349	0,4
Isover EPS 70	100	0,040	2,500			
Parozábrana z polyetylenu	0,2	0,340	0,001			
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

Tab. 37: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm - výpočet U

Šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm						
EPS GR 50 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	1,980	0,505	0,6
Styrotherm Plus 100	50	0,031	1,613			
Parozábrana z polyetylenu	0,2	0,340	0,001			
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

Tab. 38: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm - výpočet U

Šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm						
EPS GR 70 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,10	2,625	0,381	0,4
Styrotherm Plus 100	70	0,031	2,258			
Parozábrana z polyetylenu	0,2	0,340	0,001			
Dřevěný záklop	25	0,220	0,114			
Rákosová rohož	5	0,120	0,042			
Vápenná omítka	10	0,880	0,011			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,10			

Tab. 39: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m^2 (bez DPH)
MATERIÁL	Skelná vlna UNIROL PROFI tl. 50 mm	89
	Polyetylenová parozábrana DEKSEPAR tl. 0,2mm	13
	OSB desky pro pochozí lávky vztaženo na $1 m^2$ stropu	21
PRÁCE	Pokládka parozábrany na $1 m^2$	60
	Pokládka tepelné izolace na $1 m^2$	55
	Instalace pochozích lávek z OSB desek na $1 m^2$	15
	Úklid, odvoz přebytečného materiálu	28
CELKEM		281

Tab. 40: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Skelná vlna UNIROL PROFI tl. 80 mm	142
	Polyetylenová parozábrana DEKSEPAR tl. 0,2mm	13
	OSB desky pro pochozí lávky vztaženo na 1 m ² stropu	21
PRÁCE	Pokládka parozábrany na 1 m ²	60
	Pokládka tepelné izolace na 1 m ²	55
	Instalace pochozích lávek z OSB desek na 1 m ²	15
	Úklid, odvoz přebytečného materiálu	28
CELKEM		334

Tab. 41: Strop - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 60 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 60 mm	120
	Polyetylenová parozábrana DEKSEPAR tl. 0,2mm	13
PRÁCE	Pokládka parozábrany na 1 m ²	60
	Pokládka tepelné izolace na 1 m ²	80
	Úklid, odvoz přebytečného materiálu	28
CELKEM		301

Tab. 42: Strop - expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm	200
	Polyetylenová parozábrana DEKSEPAR tl. 0,2mm	13
PRÁCE	Pokládka parozábrany na 1 m ²	60
	Pokládka tepelné izolace na 1 m ²	80
	Úklid, odvoz přebytečného materiálu	28
CELKEM		381

Tab. 43: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm	124
	Polyetylenová parozábrana DEKSEPAR tl. 0,2mm	13
PRÁCE	Pokládka parozábrany na 1 m ²	60
	Pokládka tepelné izolace na 1 m ²	80
	Úklid, odvoz přebytečného materiálu	28
CELKEM		305

Tab. 44: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm	175
	Polyetylenová parozábrana DEKSEPAR tl. 0,2mm	13
PRÁCE	Pokládka parozábrany na 1 m ²	60
	Pokládka tepelné izolace na 1 m ²	80
	Úklid, odvoz přebytečného materiálu	28
CELKEM		356

6.3. Obvodové stěny

Uvažovaná plocha zatepovaných stěn je 207,694 m².

Jednotlivá opatření jsou tvořena následujícími tepelnými izolanty:

- expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm a 170 mm,
- desky z čedičové vlny Isover TF PROFI tl. 100 mm a 160 mm a
- expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm a 140 mm.

Uvedené ceny vychází z nabídky stavebních firem a dodavatelů stavebních materiálů [12] [28] [31] [34].

Tab. 45: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm						
EPS 110 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	3,533	0,283	0,3
Vápnenná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
styro EPS 70F	110	0,040	2,750			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Armovací tkanina	1	0,760	0,001			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Penetrace pod omítku	0,5	0,540	0,001			
Silikonová omítka	1,5	0,700	0,002			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Tab. 46: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm - výpočet U

Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm						
EPS 170 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelný odpor R [m ² ·K·W ⁻¹]	výsledný tepelný odpor R_T [m ² ·K·W ⁻¹]	součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	5,033	0,199	0,2
Vápnenná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
styro EPS 70F	170	0,040	4,250			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Armovací tkanina	1	0,760	0,001			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Penetrace pod omítku	0,5	0,540	0,001			
Silikonová omítka	1,5	0,700	0,002			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Tab. 47: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm - výpočet U

Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm						
MW 100 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	3,561	0,281	0,3
Vápnenná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Isover TF PROFI	100	0,036	2,778			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Armovací tkanina	1	0,760	0,001			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Penetrace pod omítku	0,5	0,540	0,001			
Silikonová omítka	1,5	0,700	0,002			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Tab. 48: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm - výpočet U

Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm						
MW 160 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	5,227	0,191	0,2
Vápnenná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Isover TF PROFI	160	0,036	4,444			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Armovací tkanina	1	0,760	0,001			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Penetrace pod omítku	0,5	0,540	0,001			
Silikonová omítka	1,5	0,700	0,002			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Tab. 49: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - výpočet U

Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm						
EPS GR 80 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	3,364	0,297	0,3
Vápnenná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Šedý EPS Grey 100	80	0,031	2,581			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Armovací tkanina	1	0,760	0,001			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Penetrace pod omítku	0,5	0,540	0,001			
Silikonová omítka	1,5	0,700	0,002			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Tab. 50: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm - výpočet U

Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm						
EPS GR 140 mm	tloušťka d [mm]	součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	výsledný tepelný odpor R_T [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	doporučený součinitel prostupu tepla $U_{N,20}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce R_{si}			0,13	5,299	0,189	0,2
Vápná omítka	10	0,880	0,011			
Zdivo z CPP na VC maltě	450	0,780	0,577			
Lepicí tmel	10	0,990	0,010			
Šedý EPS Grey 100	140	0,031	4,516			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Armovací tkanina	1	0,760	0,001			
Vyrovnávací stěrka	5	0,990	0,005			
Penetrace pod omítku	0,5	0,540	0,001			
Silikonová omítka	1,5	0,700	0,002			
Tepelný odpor na vnější straně konstrukce R_{se}			0,04			

Tab. 51: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		
	cena za m^2 (bez DPH)	
MATERIÁL	Fasádní polystyren styro EPS 70F tl. 110 mm	123
	Lepicí a stěrkové hmoty	74
	Armovací tkanina	18
	Talířové hmoždinky, plast. trn 10/210 mm (6 ks/ m^2)	31
	Polyesterová zátka	13
	Penetrace pod omítku	18
	Silikonová omítka	114
	Systémové prvky - lišty	53
PRÁCE	Montážní práce (lepení, stěrkování, omítkování)	383
	Lešení (nájem, montáž, demontáž, doprava)	126
	Úklid, odvoz sutí, zalepení oken	26
CELKEM		979

Tab. 52: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		
	cena za m^2 (bez DPH)	
MATERIÁL	Fasádní polystyren styro EPS 70F tl. 170 mm	193
	Lepicí a stěrkové hmoty	74
	Armovací tkanina	18
	Talířové hmoždinky, plast. trn 10/270 mm (10 ks/ m^2)	63
	Polyesterová zátka	13
	Penetrace pod omítku	18
	Silikonová omítka	114
	Systémové prvky - lišty	53
PRÁCE	Montážní práce (lepení, stěrkování, omítkování)	383
	Lešení (nájem, montáž, demontáž, doprava)	126
	Úklid, odvoz sutí, zalepení oken	26
CELKEM		1081

Tab. 53: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm	470
	Lepicí a stěrkové hmoty	74
	Armovací tkanina	18
	Talířové hmoždinky, plast. trn 10/210 mm (6 ks/m ²)	31
	Polyesterová zátka	13
	Penetrace pod omítku	18
	Silikonová omítka	114
	Systémové prvky - lišty	53
PRÁCE	Montážní práce (lepení, stěrkování, omítkování)	383
	Lešení (nájem, montáž, demontáž, doprava)	126
	Úklid, odvoz sutí, zalepení oken	26
CELKEM		1326

Tab. 54: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Fasádní polystyren EPS 70F tl. 160 mm	752
	Lepicí a stěrkové hmoty	74
	Armovací tkanina	18
	Talířové hmoždinky, plast. trn 10/210 mm (6 ks/m ²)	31
	Polyesterová zátka	13
	Penetrace pod omítku	18
	Silikonová omítka	114
	Systémové prvky - lišty	53
PRÁCE	Montážní práce (lepení, stěrkování, omítkování)	383
	Lešení (nájem, montáž, demontáž, doprava)	126
	Úklid, odvoz sutí, zalepení oken	26
CELKEM		1608

Tab. 55: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Fasádní šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	127
	Lepicí a stěrkové hmoty	74
	Armovací tkanina	18
	Talířové hmoždinky, plast. trn 10/210 mm (6 ks/m ²)	31
	Polyesterová zátka	13
	Penetrace pod omítku	18
	Silikonová omítka	114
	Systémové prvky - lišty	53
PRÁCE	Montážní práce (lepení, stěrkování, omítkování)	383
	Lešení (nájem, montáž, demontáž, doprava)	126
	Úklid, odvoz sutí, zalepení oken	26
CELKEM		983

Tab. 56: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm - cena

SLOŽENÍ CENY ZA OPATŘENÍ		
složka ceny		cena za m ² (bez DPH)
MATERIÁL	Fasádní šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm	222
	Lepicí a stěrkové hmoty	74
	Armovací tkanina	18
	Talířové hmoždinky, plast. trn 10/240 mm (10 ks/m ²)	57
	Polyesterová zátka	13
	Penetrace pod omítku	18
	Silikonová omítka	114
	Systémové prvky - lišty	53
PRÁCE	Montážní práce (lepení, stěrkování, omítkování)	383
	Lešení (nájem, montáž, demontáž, doprava)	126
	Úklid, odvoz sutí, zalepení oken	26
CELKEM		1104

6.4. Výplně otvorů

Vzhledem k tomu, že výsledný součinitel prostupu tepla oken se stanovuje pro každé okno zvlášť v závislosti na plochách rámu okna a zasklení a obvodu zasklení, jsou v každém opatření jednotlivá okna posuzována zvlášť. Při konkrétní realizaci výměny oken je třeba vyrobit každé okno na objednávku, uvedené ceny jsou dle výrobce oken [35] upraveny v závislosti na velikosti jednotlivých oken. Ceny dveří jsou brány dle jejich výrobce [36]. Uvedené ceny otvorových výplní jsou navýšeny o 20 %. Tato přírážka přibližně odpovídá ceně prací, která s výměnou otvorových výplní souvisí. Jedná se o demontáž stávajících oken a dveří, osazení nových výplní otvorů, zhotovení nového parapetu a omítnutí ostění a nadpraží. Pro přesnou cenu těchto prací by bylo potřeba provést objednávku u konkrétní firmy, která by výměnu oken a dveří prováděla.

Kombinace oken a dveří jsou v jednotlivých opatřeních zvolena následovně:

- Plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda,
- Plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem + dřevěné dveře Masonite,
- Plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem + bezpečnostní dveře Masonite B2,
- Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda a
- Dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA.

Jednotlivá okna jsou posuzována dle vzorce [20]:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + I_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f},$$

kde:

A_g ...celková plocha zasklení okna [m^2],

U_g ...součinitel prostupu tepla zasklením okna [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

A_f ...celková plocha rámu okna [m^2],

U_f ... součinitel prostupu tepla rámu okna [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

I_g ...viditelný obvod zasklení [m],

Ψ_g ... lineární činitel prostupu tepla způsobený kombinovanými tepelnými vlivy zasklení, distančního rámečku a rámu [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$].

Při stanovování ploch zasklení oken A_g , ploch rámu oken A_f a viditelných obvodů zasklení I_g je uvažováno s tím, že u každého okna je šířka rámu 100 mm a větší okna s šířkou minimálně 1800 mm jsou tvořena dvoukřídlými okny. Součinitele prostupu tepla zasklením oken U_g , rámu oken U_f a lineární činitel prostupu tepla Ψ_g jsou stanoveny výrobcem oken. Propustnost slunečního záření je uvažována 0,75 pro dvojskla a 0,7 pro trojskla.

Tab. 57: Výplně otvorů - plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem a dřevěné palubkové dveře model Linda, výpočet jednotlivých U_w a ceny

Plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda												
typ okna	b [mm]	h [mm]	A_w [m^2]	$U_{staré}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	A_f [m^2]	A_g [m^2]	I_g [m]	U_f [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	U_g [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Ψ_g [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	U_w [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Cena [Kč]
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	3 740
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	3 740
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	3 740
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	3 740
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	1,2	0,7	0,03	1,008	1 730
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	1,2	0,7	0,03	1,008	1 730
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	1,2	0,7	0,03	1,091	770
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	1,2	0,7	0,03	1,091	770
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	1,2	0,7	0,03	0,938	3 740
O1	1150	1450	1,6675	2,4	0,48	1,1875	4,4	1,2	0,7	0,03	0,923	1 730
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	1,2	0,7	0,03	0,938	3 740
O2	1200	2100	2,52	2,35	0,62	1,9	5,8	1,2	0,7	0,03	0,892	2 770
O2	600	1000	0,6	2,35	0,28	0,32	2,4	1,2	0,7	0,03	1,053	660
D1	860	2050	1,763	2,5	Dřevěné palubkové dveře model Linda						0,900	5 555
D1	660	2000	1,32	2,5	Dřevěné palubkové dveře model Linda						0,900	5 555
Cena celkem (včetně 20% přírůžky za montáž)												43 710

Tab. 58: Výplně otvorů - plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem a dřevěné dveře Masonite, vypočet jednotlivých U_w a ceny

Plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem + dřevěné dveře Masonite												
typ okna	b [mm]	h [mm]	A_w [m ²]	$U_{staré}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A_f [m ²]	A_g [m ²]	l_g [m]	U_f [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_g [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Ψ_g [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U_w [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Cena [Kč]
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,9	0,5	0,03	0,694	4 550
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,9	0,5	0,03	0,694	4 550
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,9	0,5	0,03	0,694	4 550
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,9	0,5	0,03	0,694	4 550
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	0,9	0,5	0,03	0,768	2 090
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	0,9	0,5	0,03	0,768	2 090
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	0,9	0,5	0,03	0,839	860
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	0,9	0,5	0,03	0,839	860
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	0,9	0,5	0,03	0,709	4 550
O1	1150	1450	1,6675	2,4	0,48	1,1875	4,4	0,9	0,5	0,03	0,694	2 090
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	0,9	0,5	0,03	0,709	4 550
O2	1200	2100	2,52	2,35	0,62	1,9	5,8	0,9	0,5	0,03	0,667	2 880
O2	600	1000	0,6	2,35	0,28	0,32	2,4	0,9	0,5	0,03	0,807	690
D1	860	2050	1,763	2,5	Dřevěné dveře Masonite						0,700	5 772
D1	660	2000	1,32	2,5	Dřevěné dveře Masonite						0,700	5 772
Cena celkem (včetně 20% přírůžky za montáž)												50 404

Tab. 59: Výplně otvorů - plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem a bezpečnostní dveře Masonite B2, vypočet jednotlivých U_w a ceny

Plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem + bezpečnostní dveře Masonite B2												
typ okna	b [mm]	h [mm]	A_w [m ²]	$U_{staré}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A_f [m ²]	A_g [m ²]	l_g [m]	U_f [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_g [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Ψ_g [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U_w [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Cena [Kč]
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,7	0,3	0,02	0,466	8 020
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,7	0,3	0,02	0,466	8 020
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,7	0,3	0,02	0,466	8 020
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	0,7	0,3	0,02	0,466	8 020
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	0,7	0,3	0,02	0,533	3 850
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	0,7	0,3	0,02	0,533	3 850
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	0,7	0,3	0,02	0,595	3 850
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	0,7	0,3	0,02	0,595	2 200
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	0,7	0,3	0,02	0,479	8 020
O1	1150	1450	1,6675	2,4	0,48	1,1875	4,4	0,7	0,3	0,02	0,468	3 850
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	0,7	0,3	0,02	0,479	8 020
O2	1200	2100	2,52	2,35	0,62	1,9	5,8	0,7	0,3	0,02	0,444	3 960
O2	600	1000	0,6	2,35	0,28	0,32	2,4	0,7	0,3	0,02	0,567	950
D1	860	2050	1,763	2,5	Bezpečnostní dveře Masonite B2						0,550	8 908
D1	660	2000	1,32	2,5	Bezpečnostní dveře Masonite B2						0,550	8 908
Cena celkem (včetně 20% přírůžky za montáž)												88 446

Tab. 60: Výplně otvorů - plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda, vypočet jednotlivých U_w a ceny

Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda												
typ okna	b [mm]	h [mm]	A_w [m ²]	$U_{staré}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A_f [m ²]	A_g [m ²]	l_g [m]	U_f [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_g [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Ψ_g [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U_w [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Cena [Kč]
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1	0,7	0,03	0,866	4 020
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1	0,7	0,03	0,866	4 020
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1	0,7	0,03	0,866	4 020
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1	0,7	0,03	0,866	4 020
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	1	0,7	0,03	0,927	1 800
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	1	0,7	0,03	0,927	1 800
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	1	0,7	0,03	0,986	790
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	1	0,7	0,03	0,986	790
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	1	0,7	0,03	0,879	4 020
O1	1150	1450	1,6675	2,4	0,48	1,1875	4,4	1	0,7	0,03	0,866	1 800
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	1	0,7	0,03	0,879	4 020
O2	1200	2100	2,52	2,35	0,62	1,9	5,8	1	0,7	0,03	0,843	2 850
O2	600	1000	0,6	2,35	0,28	0,32	2,4	1	0,7	0,03	0,960	730
D1	860	2050	1,763	2,5	Dřevěné palubkové dveře model Linda						0,900	5 555
D1	660	2000	1,32	2,5	Dřevěné palubkové dveře model Linda						0,900	5 555
Cena celkem (včetně 20% přírážky za montáž)												45 790

Tab. 61: Výplně otvorů - dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA, vypočet jednotlivých U_w a ceny

Dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA												
typ okna	b [mm]	h [mm]	A_w [m ²]	$U_{staré}$ [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	A_f [m ²]	A_g [m ²]	l_g [m]	U_f [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_g [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Ψ_g [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	U_w [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Cena [Kč]
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	9 172
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	9 172
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	9 172
O1	2050	1550	3,1775	2,4	0,8825	2,295	8,8	1,2	0,7	0,03	0,922	9 172
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	1,2	0,7	0,03	1,008	4 116
O1	850	900	0,765	2,4	0,31	0,455	2,7	1,2	0,7	0,03	1,008	4 116
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	1,2	0,7	0,03	1,091	2 145
O1	550	800	0,44	2,4	0,23	0,21	1,9	1,2	0,7	0,03	1,091	2 145
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	1,2	0,7	0,03	0,938	9 172
O1	1150	1450	1,6675	2,4	0,48	1,1875	4,4	1,2	0,7	0,03	0,923	4 116
O1	1800	1550	2,79	2,4	0,8325	1,9575	8,3	1,2	0,7	0,03	0,938	9 172
O2	1200	2100	2,52	2,35	0,62	1,9	5,8	1,2	0,7	0,03	0,892	4 600
O2	600	1000	0,6	2,35	0,28	0,32	2,4	1,2	0,7	0,03	1,053	1 100
D1	860	2050	1,763	2,5	Palubkové dveře Tredo model VIOLA						0,900	6 223
D1	660	2000	1,32	2,5	Palubkové dveře Tredo model VIOLA						0,900	6 223
Cena celkem (včetně 20% přírážky za montáž)												89 816

6.5. Zhodnocení úspor jednotlivých opatření

V následujících tabulkách jsou pro každý typ konstrukce sepsána jednotlivá navržená opatření, která vedou ke zlepšení tepelné izolačnosti budovy a tím i ke snížení její energetické náročnosti. Investice do opatření je vypočtena vynásobením jednotkové ceny stanovené v kapitolách 6.1. až 6.4. a plochy zateplované konstrukce. Energetická úspora a snížení produkce CO₂, který vzniká provozem budovy, jsou vypočteny pomocí programu Energie 2016 EDU a porovnáním s původním stavem budovy. Vzhledem k tomu, že zateplením budovy dochází pouze ke snížení spotřeby energie potřebné na vytápění budovy, které je zajištěno plynovým kotlem, je finanční úspora vztažena pouze ke spotřebě zemního plynu. Cena za odběr zemního plynu se může lišit v závislosti na jeho dodavateli, smluvené distribuční sazbě, celkové výši roční spotřeby a celé řadě dalších faktorů. Pro zjednodušení výpočtů je uvažováno s průměrnou cenou zemního plynu v České republice 1457 Kč/MWh [37] a tato cena je v dalších výpočtech uvažována jako konstantní bez ohledu na množství spotřebované energie. Prostá doba návratnosti jednotlivých opatření je určena podílem výše investice a ročních finančních úspor.

Tab. 62: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení podlahy na zemině

Podlaha na zemině						
č.	Opatření	Investice [Kč]	Úspora energie [MWh·rok ⁻¹]	Finanční úspora [Kč·rok ⁻¹]	Snížení spotřeby CO ₂ [t·rok ⁻¹]	Prostá doba návratnosti [rok]
1	Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm	37 835	1,980	2 885	0,394	13,1
2	Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm	40 501	2,251	3 280	0,448	12,3
3	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm	38 116	2,038	2 969	0,406	12,8
4	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm	41 007	2,301	3 353	0,458	12,2
5	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm	63 713	1,980	2 885	0,394	22,1
6	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm	79 403	2,251	3 280	0,448	24,2

Tab. 63: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení podlahy nad suterénem

Podlaha nad suterénem						
č.	Opatření	Investice [Kč]	Úspora energie [MWh·rok ⁻¹]	Finanční úspora [Kč·rok ⁻¹]	Snížení spotřeby CO ₂ [t·rok ⁻¹]	Prostá doba návratnosti [rok]
1	Čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm	32 418	2,958	4 310	0,589	7,5
2	Čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm	40 916	3,700	5 391	0,737	7,6
3	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 50 mm	21 843	2,997	4 367	0,597	5,0
4	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 80 mm	23 983	3,738	5 446	0,744	4,4
5	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm	22 283	3,047	4 439	0,607	5,0
6	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	26 249	4,121	6 004	0,821	4,4

Tab. 64: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení stropu

Strop						
č.	Opatření	Investice [Kč]	Úspora energie [MWh·rok ⁻¹]	Finanční úspora [Kč·rok ⁻¹]	Snížení spotřeby CO ₂ [t·rok ⁻¹]	Prostá doba návratnosti [rok]
1	Skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm	25 575	21,406	31 189	4,260	0,8
2	Skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm	30 399	23,133	33 705	4,604	0,9
3	Expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 60 mm	27 396	21,490	31 311	4,277	0,9
4	Expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm	34 677	23,317	33 973	4,641	1,0
5	Šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm	27 760	21,789	31 747	4,336	0,9
6	Šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm	32 401	23,003	33 515	4,578	1,0

Tab. 65: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení obvodových stěn

Obvodové stěny						
č.	Opatření	Investice [Kč]	Úspora energie [MWh·rok ⁻¹]	Finanční úspora [Kč·rok ⁻¹]	Snížení spotřeby CO ₂ [t·rok ⁻¹]	Prostá doba návratnosti [rok]
1	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm	203 332	29,764	43 366	5,923	4,7
2	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm	224 517	32,293	47 051	6,427	4,8
3	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm	275 402	29,830	43 462	5,937	6,3
4	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm	333 972	32,515	47 374	6,471	7,0
5	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	204 163	29,336	42 743	5,838	4,8
6	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm	229 294	32,592	47 487	6,486	4,8

Tab. 66: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření výměny výplní otvorů

Výplně otvorů						
č.	Opatření	Investice [Kč]	Úspora energie [MWh·rok ⁻¹]	Finanční úspora [Kč·rok ⁻¹]	Snížení spotřeby CO ₂ [t·rok ⁻¹]	Prostá doba návratnosti [rok]
1	Plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda	43 710	4,720	6 877	0,930	6,4
2	Plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem + dřevěné dveře Masonite	50 404	5,194	7 568	1,034	6,7
3	Plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem + bezpečnostní dveře Masonite B2	88 446	6,111	8 904	1,217	9,9
4	Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda	45 790	4,943	7 202	0,984	6,4
5	Dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA	89 816	4,720	6 877	0,930	13,1

7. SELEKCE NÁVRHU OPATŘENÍ POMOCÍ VÍCEKRITÉRIÁLNÍHO PÁROVÉHO SROVNÁNÍ

Následující kapitola je věnována selekci optimálních opatření pro jednotlivé konstrukce v závislosti na více kritériích. Tato kritéria vyplývají z hodnot vypočtených v kapitole 6.5. a jsou to: výše investičních nákladů potřebných pro realizaci opatření, roční finanční úspora plynoucí ze snížené energetické náročnosti budovy, prostá doba návratnosti investice do opatření a snížení roční produkce CO₂. Záměrně zde není uvedena úspora energie v MWh, neboť ta je vzhledem ke konstantní ceně za jednotku zemního plynu zohledněna již ve finančních úsporách. Hodnocena jsou také kritéria vycházející z materiálových charakteristik tepelných izolantů, které tvoří jednotlivá opatření. Pro podlahové konstrukce, strop a obvodové stěny se jedná o třídu reakce na oheň, tlakovou pevnost, dlouhodobou nasákavost a plošnou tepelnou kapacitu. U výplní otvorů jsou pak posuzovány výrobní charakteristiky a to konkrétně počet skel, propustnost slunečního záření, hmotnost referenčního okna o rozměrech 1 x 1 m, a počet komor v rámu okna. Výrobní charakteristiky otvorových výplní vychází z technických listů jednotlivých výrobků [35], [36]. Přehled kritérií a jejich optimálních hodnot je uveden v Tab. 67.

Tab. 67: Přehled hodnocených kritérií

Přehled hodnocených kritérií												
kritérium	investice [Kč]	finanční úspora [Kč·rok ⁻¹]	návratnost [rok]	snížení spotřeby CO ₂ [t·rok ⁻¹]	třída reakce na oheň [-]	pevnost [kPa]	nasákavost [kg·m ⁻²]	plošná tepelná kapacita [J·m ⁻² ·K ⁻¹]	počet skel [-]	prop. slun. záření [-]	hmot. ref. okna [kg]	počet komor [-]
optimum	min	max	min	max	min*	max	min	max**	max	max	min	max

* převod písmenného hodnocení na číselné hodnoty je uveden v Tab. 68

** plošná tepelná kapacita tepelné izolace je stanovena dle vzorce uvedeného níže

Tab. 68: * Převod písmenného hodnocení třídy reakce na oheň na číselné hodnoty

Převod písmenného hodnocení třídy reakce na oheň na číselné hodnoty							
třída reakce na oheň	A1	A2	B	C	D	E	F
číselné vyjádření	1	2	3	4	5	6	7

** Vzhledem k rozdílné tloušťce tepelných izolantů v jednotlivých opatřeních je jejich tepelná akumulace posuzována plošnou tepelnou kapacitou dle vzorce (uvažována je pouze vrstva tepelné izolace):

$$C = c \cdot \rho \cdot d,$$

kde:

C ...plošná tepelná kapacita tepelné izolace [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

c ...měrná tepelná kapacita tepelné izolace [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ ...objemová hmotnost tepelné izolace [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

d ...tloušťka tepelné izolace [m].

Selekce opatření je provedena pro každý typ konstrukce zvlášť metodou vícekritériálního párového srovnání následovně. Jako první je sestavena rozhodovací matice, která pro každé opatření číselně vyjadřuje hodnotu uvedených kritérií. Je zde také uvedeno, zda je optimální, aby hodnota daného kritéria byla maximální nebo minimální. Následně jsou mezi sebou jednotlivá kritéria subjektivně posouzena tak, že každé kritérium je porovnáno se všemi ostatními. Výsledky tohoto srovnání jsou uvedeny v tzv. Fullerovém trojúhelníku, vedle kterého je vytvořena tabulka s počtem bodů, které jednotlivá kritéria získala. Následně je v závislosti na počtu bodů sestaveno pořadí kritérií. Toto pořadí je uvedeno ve sloupci s označením P_i . V následujícím sloupci je uvedeno absolutní ohodnocení jednotlivých kritérií označené jako V_i . To je stanoveno dle vzorce [39]:

$$V_i = n + 1 - P_i,$$

kde:

V_i ...absolutní ohodnocení kritérií [-],

n ...počet kritérií [-], u všech uvedených srovnání $n = 8$,

P_i ...pořadí kritérií v závislosti na počtu bodů.

Ohodnocení kritéria jsou zvoleno subjektivně. Největší váha je u všech typů konstrukcí přiřazena kritériím, která souvisí s ekonomickým zhodnocením jednotlivých opatření, protože finanční zhodnocení investic do zateplení jsou pro potenciální investory hlavní z hlediska rozhodování. Materiálové (či v případě výplní otvorů výrobové) charakteristiky jsou hodnoceny v závislosti na tom, o jakou konstrukci se jedná. Například u tepelných izolantů použitých v podlaze na zemině, které by byly vystaveny mechanickému zatížení, je uvažováno s vyšší vahou tlakové pevnosti a naopak s nižší vahou třídy reakce na oheň.

V posledním sloupci této tabulky je absolutní ohodnocení převedeno na relativní ohodnocení pomocí vztahu [39]:

$$F_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

kde:

F_i ...relativní ohodnocení kritérií [-],

n ...počet kritérií [-], u všech uvedených srovnání $n = 8$,

V_i ...absolutní ohodnocení kritérií [-].

Posledním krokem selekce je tzv. výpočtová matice. Zde je ke každému kritériu přiřazeno relativní ohodnocení F_i stanovené předchozím výpočtem. Poté je pro každé kritérium u všech opatření stanoven význam i -tého kritéria u j -tého opatření následovně [39]:

$$c_{ij} = F_i \cdot b_{ij} \cdot 100,$$

kde:

c_{ij} ...význam i -tého kritéria u j -tého opatření [%].

F_i ...relativní ohodnocení kritérií [-],

b_{ij} ...význam i -tého kritéria u j -tého opatření bez zohlednění relativního ohodnocení kritéria [-],

100...pro zpřehlednění výsledků je výsledná hodnota uvedena v procentech.

V závislosti na tom, zda je optimální hodnota kritéria maximální či minimální, se hodnota b_{ij} stanoví dle vzorců [39]:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \max(a_i)}{\max(a_i) - \min(a_i)}$$

pro maximální optimální hodnotu kritéria a

$$b_{ij} = \frac{\max(a_i) - a_{ij}}{\max(a_i) - \min(a_i)}$$

pro minimální optimální hodnotu kritéria, kde:

b_{ij} ...význam i -tého kritéria u j -tého opatření bez zohlednění relativního ohodnocení kritéria [-],

a_{ij} ...číselná hodnota i -tého kritéria u j -tého opatření [jednotka dle použitého kritéria]

$\max(a)$...maximální hodnota kritéria ze všech opatření,

$\min(a)$...minimální hodnota kritéria ze všech opatření.

Z uvedených vzorců vyplývá, že nejvyšších hodnot významu c_{ij} nabývají kritéria, kterým je přiřazeno nejvyšší relativní ohodnocení F_i . U kritérií, kde je optimum maximální, pak minimální hodnota ze všech opatření nabývá nulových hodnot a naopak u kritérií, kde je optimum minimální, nabývá nulových hodnot maximální hodnota ze všech opatření.

Poté jsou sečteny všechny hodnoty významů i -tých kritérií u j -tých opatření c_{ij} [39]:

$$c_j = \sum_{i=1}^n c_{ij}$$

kde:

c_{ij} ...význam i -tého kritéria u j -tého opatření [%],

n ...počet kritérií [-], u všech uvedených srovnání $n = 8$,

c_j ...součet všech hodnot významů kritérií u j -tého opatření [%].

Dle nejvyšší hodnoty výsledné sumy c_j je pak pro všechny konstrukce (podlahy, strop, obvodové stěny a otvorové výplně) vybráno nejvhodnější opatření, které je zahrnuto do výsledné varianty zateplení budovy.

7.1. Podlaha na zemině

Tab. 69: Podlaha na zemině - rozhodovací matice

Podlaha na zemině - rozhodovací matice									
č.	Tepelná izolace			Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm	Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm
	Kritérium	jednotka	optimum						
1	Investice	Kč	min	37 835	40 501	38 116	41 007	63 713	79 403
2	Finanční úspora	Kč.rok ⁻¹	max	2 885	3 280	2 969	3 353	2 885	3 280
3	Návratnost	rok	min	13,1	12,3	12,8	12,2	22,1	24,2
4	Snížení spotřeby CO ₂	t.rok ⁻¹	max	0,394	0,448	0,406	0,458	0,394	0,448
5	Třída reakce na oheň	-	min	6	6	6	6	1	1
6	Tlaková pevnost	kPa	max	100	100	300	300	400	400
7	Dlouhodobá nasákavost	kg.m ⁻²	min	0,5	0,5	0,5	0,5	3	3
8	Plošná tepelná kapacita	J.m ⁻² .K ⁻¹	max	2 032	3 048	5 274	7 910	11 220	16 830

Tab. 70: Podlaha na zemině - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií

FULLERŮV TROJÚHELNÍK							
1	1	1	1	1	1	1	1
2	3	4	5	6	7	8	
2	2	2	2	2	2	2	
3	4	5	6	7	8		
3	3	3	3	3			
4	5	6	7	8			
4	4	4	4				
5	6	7	8				
5	5	5					
6	7	8					
6	6						
7	8						
7							
8							

STANOVENÍ RELATIVNÍHO OHODNOCENÍ KRITÉRIÍ				
číslo kritéria	počet bodů	pořadí kritérií P _i	absolutní ohodnocení V _i	relativní ohodnocení F _i
1	6	2	7	0,194444
2	5	3	6	0,166667
3	7	1	8	0,222222
4	4	4	5	0,138889
5	0	8	1	0,027778
6	3	5	4	0,111111
7	1	7	2	0,055556
8	2	6	3	0,083333
SUMA			36	1

Tab. 71: Podlaha na zemině - výpočtová matice

Podlaha na zemině - výpočtová matice								
č.	Tepelná izolace		Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm	Expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm	Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm	Pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm
	Kritérium	F _i						
1	Investice	0,194444	19,44%	18,20%	19,31%	17,96%	7,34%	0,00%
2	Finanční úspora	0,166667	0,00%	14,07%	3,01%	16,67%	0,00%	14,07%
3	Návratnost	0,222222	20,58%	22,00%	21,10%	22,22%	3,94%	0,00%
4	Snížení spotřeby CO ₂	0,138889	0,00%	11,72%	2,60%	13,89%	0,00%	11,72%
5	Třída reakce na oheň	0,027778	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,78%	2,78%
6	Tlaková pevnost	0,111111	0,00%	0,00%	5,56%	5,56%	8,34%	8,34%
7	Dlouhodobá nasákavost	0,055556	5,56%	5,56%	5,56%	5,56%	0,00%	0,00%
8	Plošná tepelná kapacita	0,083333	0,00%	0,57%	1,83%	3,31%	5,17%	8,33%
SUMA			45,58%	72,12%	58,97%	85,17%	27,57%	45,24%

Jako optimální opatření je u podlahy na zemině zvoleno zateplení pomocí tepelné izolace z extrudovaného polystyrenu FIBRAN 300-L tloušťky 120 mm, u kterého bylo dosaženo celkové sumy významu kritérií 85,17 %. Toto opatření vykazuje nejvýhodnější ekonomická kritéria. Při investičních nákladech 41 007 Kč a roční úspoře 3 353 Kč dochází k prosté návratnosti investice po 12,2 letech. Z hlediska materiálových charakteristik izolací je nejvyšší váha přidělena tlakové pevnosti a naopak nejnižší váha třídě reakce na oheň.

7.2. Podlaha nad sklepem

Tab. 72: Podlaha nad sklepem - rozhodovací matice

Podlaha nad sklepem - rozhodovací matice									
č.	Tepelná izolace			Čedičová vlna	Čedičová vlna	Expandovaný	Expandovaný	Expandovaný	Expandovaný
	Kritérium	jednotka	optimum	Isover NF 333 tl. 50 mm	Isover NF 333 tl. 80 mm	polystyren styro EPS 70 F tl. 50 mm	polystyren styro EPS 70 F tl. 80 mm	šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm	šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm
1	Investice	Kč	min	32 418	40 916	21 843	23 983	22 283	26 249
2	Finanční úspora	Kč.rok ⁻¹	max	4 310	5 391	4 367	5 446	4 439	6 004
3	Návratnost	rok	min	7,5	7,6	5,0	4,4	5,0	4,4
4	Snížení spotřeby CO ₂	t.rok ⁻¹	max	0,589	0,737	0,597	0,744	0,607	0,821
5	Třída reakce na oheň	-	min	1	1	6	6	6	6
6	Tlaková pevnost	kPa	max	80	80	70	70	100	100
7	Dlouhodobá nasákavost	kg.m ⁻²	min	3	3	0,5	0,5	0,5	0,5
8	Plošná tepelná kapacita	J.m ⁻² .K ⁻¹	max	5 060	8 096	1 143	1 829	1 168	2 337

Tab. 73: Podlaha nad sklepem - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií

FULLERŮV TROJÚHELNÍK						
1	1	1	1	1	1	1
2	3	4	5	6	7	8
3	2	2	2	2	2	2
4	4	5	6	7	8	
5	3	3	3	3		
6	4	4	4	4		
7	5	6	7	8		
8	6	7	8			
6	6					
7	8					
7						
8						

STANOVENÍ RELATIVNÍHO OHODNOCENÍ KRITÉRIÍ				
číslo kritéria	počet bodů	pořadí kritérií P _i	absolutní ohodnocení V _i	relativní ohodnocení F _i
1	6	2	7	0,194444
2	5	3	6	0,166667
3	7	1	8	0,222222
4	4	4	5	0,138889
5	2	6	3	0,083333
6	0	8	1	0,027778
7	3	5	4	0,111111
8	1	7	2	0,055556
SUMA			36	1

Tab. 74: Podlaha nad sklepem - výpočtová matice

Podlaha nad sklepem - výpočtová matice								
č.	Tepelná izolace		Čedičová vlna	Čedičová vlna	Expandovaný	Expandovaný	Expandovaný	Expandovaný
	Kritérium	F _i	Isover NF 333 tl. 50 mm	Isover NF 333 tl. 80 mm	polystyren styro EPS 70 F tl. 50 mm	polystyren styro EPS 70 F tl. 80 mm	šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm	šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm
1	Investice	0,194444	8,66%	0,00%	19,44%	17,26%	19,00%	14,95%
2	Finanční úspora	0,166667	0,00%	10,63%	0,56%	11,18%	1,28%	16,67%
3	Návratnost	0,222222	0,47%	0,00%	17,87%	22,00%	17,75%	22,22%
4	Snížení spotřeby CO ₂	0,138889	0,00%	8,86%	0,48%	9,28%	1,08%	13,89%
5	Třída reakce na oheň	0,083333	8,33%	8,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6	Tlaková pevnost	0,027778	0,28%	0,28%	0,00%	0,00%	0,84%	0,84%
7	Dlouhodobá nasákavost	0,111111	0,00%	0,00%	11,11%	11,11%	11,11%	11,11%
8	Plošná tepelná kapacita	0,055556	3,13%	5,56%	0,00%	0,55%	0,02%	0,95%
SUMA			20,87%	33,66%	49,46%	71,38%	51,07%	80,63%

Jako optimální opatření je u podlahy nad sklepem zvoleno zateplení pomocí tepelné izolace z šedého expandovaného polystyrenu EPS Grey 100 tloušťky 80 mm, u kterého bylo dosaženo celkové sumy významu kritérií 80,63 %. Toto opatření vykazuje nejvýhodnější ekonomická kritéria. Při investičních nákladech 26 249 Kč a roční úspoře 6 004 Kč dochází k prosté návratnosti investice po 4,4 letech. Z hlediska materiálových charakteristik izolací je nejvyšší váha přidělena dlouhodobé nasákavosti a naopak nejnižší váha tlakové pevnosti.

7.3. Strop

Tab. 75: Strop - rozhodovací matice

Strop - rozhodovací matice									
č.	Tepelná izolace			Skelná vlna	Skelná vlna	Expandovaný	Expandovaný	Šedý polystyren	Šedý polystyren
	Kritérium	jednotka	optimum	Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm	Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm	polystyren Isover EPS 70 tl. 60 mm	polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm	Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm	Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm
1	Investice	Kč	min	25 575	30 399	27 396	34 677	27 760	32 401
2	Finanční úspora	Kč.rok ⁻¹	max	31 189	33 705	31 311	33 973	31 747	33 515
3	Návratnost	rok	min	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0
4	Snížení spotřeby CO ₂	t.rok ⁻¹	max	4,260	4,604	4,277	4,641	4,336	4,578
5	Třída reakce na oheň	-	min	1	1	6	6	6	6
6	Tlaková pevnost	kPa	max	2,5	2,5	70	70	100	100
7	Dlouhodobá nasákavost	kg.m ⁻²	min	80	80	0,5	0,5	0,5	0,5
8	Plošná tepelná kapacita	J.m ⁻² .K ⁻¹	max	987	1 579	1 372	2 286	14 605	20 447

Tab. 76: Strop - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií

FULLERŮV TROJÚHELNÍK							
1	1	1	1	1	1	1	1
2	3	4	5	6	7	8	
2	2	2	2	2	2	2	
3	4	5	6	7	8		
3	3	3	3	3			
4	5	6	7	8			
4	4	4	4				
5	6	7	8				
5	5	5					
6	7	8					
6	6						
7	8						
7							
8							

STANOVENÍ RELATIVNÍHO OHODNOCENÍ KRITÉRIÍ				
číslo kritéria	počet bodů	pořadí kritérií P _i	absolutní ohodnocení V _i	relativní ohodnocení F _i
1	6	2	7	0,194444
2	5	3	6	0,166667
3	7	1	8	0,222222
4	4	4	5	0,138889
5	2	6	3	0,083333
6	0	8	1	0,027778
7	3	5	4	0,111111
8	1	7	2	0,055556
SUMA			36	1

Tab. 77: Strop - výpočtová matice

Strop - výpočtová matice								
č.	Tepelná izolace		Skelná vlna	Skelná vlna	Expandovaný	Expandovaný	Šedý polystyren	Šedý polystyren
	Kritérium	F _i	Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm	Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm	polystyren Isover EPS 70 tl. 60 mm	polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm	Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm	Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm
1	Investice	0,194444	19,44%	9,14%	15,56%	0,00%	14,78%	4,86%
2	Finanční úspora	0,166667	0,00%	15,06%	0,73%	16,67%	3,34%	13,93%
3	Návratnost	0,222222	22,22%	13,15%	16,14%	0,00%	16,20%	5,97%
4	Snížení spotřeby CO ₂	0,138889	0,00%	12,54%	0,62%	13,89%	2,77%	11,59%
5	Třída reakce na oheň	0,083333	8,33%	8,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
6	Tlaková pevnost	0,027778	0,00%	0,00%	1,89%	1,89%	2,73%	2,73%
7	Dlouhodobá nasákavost	0,111111	0,00%	0,00%	11,11%	11,11%	11,11%	11,11%
8	Plošná tepelná kapacita	0,055556	0,00%	0,17%	0,11%	0,37%	3,89%	5,56%
SUMA			50,00%	58,40%	46,16%	43,93%	54,82%	55,75%

Jako optimální opatření je u stropu zvoleno zateplení pomocí tepelné izolace ze skelné vlny Isover UNIROL PROFI tloušťky 80 mm, u kterého bylo dosaženo celkové sumy významu kritérií 58,40 %. Toto opatření vykazuje nejvýhodnější ekonomická kritéria. Při investičních nákladech 30 399 Kč a roční úspoře 33 705 Kč dochází k prosté návratnosti investice po 0,9 letech. Z hlediska materiálových charakteristik izolací je nejvyšší váha přidělena dlouhodobé nasákavosti a naopak nejnižší váha tlakové pevnosti.

7.4. Obvodové stěny

Tab. 78: Obvodové stěny - rozhodovací matice

Obvodové stěny - rozhodovací matice									
č.	Tepelná izolace			Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm
	Kritérium	jednotka	optimum						
1	Investice	Kč	min	203 332	224 517	275 402	333 972	204 163	229 294
2	Finanční úspora	Kč.rok ⁻¹	max	43 366	47 051	43 462	47 374	42 743	47 487
3	Návratnost	rok	min	4,7	4,8	6,3	7,0	4,8	4,8
4	Snížení spotřeby CO ₂	t.rok ⁻¹	max	5,923	6,427	5,937	6,471	5,838	6,486
5	Třída reakce na oheň	-	min	6	6	1	1	6	6
6	Tlaková pevnost	kPa	max	70	70	15	15	100	100
7	Dlouhodobá nasákavost	kg.m ⁻²	min	0,5	0,5	3	3	0,5	0,5
8	Plošná tepelná kapacita	J.m ⁻² .K ⁻¹	max	2 515	3 886	10 120	16 192	2 337	4 089

Tab. 79: Obvodové stěny - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií

FULLERŮV TROJÚHELNÍK						
1	1	1	1	1	1	1
2	3	4	5	6	7	8
2	2	2	2	2	2	2
3	4	5	6	7	8	
3	3	3	3	3		
4	5	6	7	8		
4	4	4	4			
5	6	7	8			
5	5	5				
6	7	8				
6	6					
7	8					
7						
8						

STANOVENÍ RELATIVNÍHO OHODNOCENÍ KRITÉRIÍ				
číslo kritéria	počet bodů	pořadí kritérií P _i	absolutní ohodnocení V _i	relativní ohodnocení F _i
1	6	2	7	0,194444
2	5	3	6	0,166667
3	7	1	8	0,222222
4	4	4	5	0,138889
5	2	6	3	0,083333
6	0	8	1	0,027778
7	3	5	4	0,111111
8	1	7	2	0,055556
SUMA			36	1

Tab. 80: Obvodové stěny - výpočtová matice

Obvodové stěny - výpočtová matice								
č.	Tepelná izolace		Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm	Expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm	Čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm
	Kritérium	F _i						
1	Investice	0,194444	19,44%	16,29%	8,72%	0,00%	19,32%	15,58%
2	Finanční úspora	0,166667	2,19%	15,14%	2,53%	16,27%	0,00%	16,67%
3	Návratnost	0,222222	22,22%	21,44%	6,71%	0,00%	21,40%	20,91%
4	Snížení spotřeby CO ₂	0,138889	1,82%	12,62%	2,12%	13,57%	0,00%	13,89%
5	Třída reakce na oheň	0,083333	0,00%	0,00%	8,33%	8,33%	0,00%	0,00%
6	Tlaková pevnost	0,027778	1,54%	1,54%	0,00%	0,00%	2,38%	2,38%
7	Dlouhodobá nasákavost	0,111111	11,11%	11,11%	0,00%	0,00%	11,11%	11,11%
8	Plošná tepelná kapacita	0,055556	0,07%	0,62%	3,12%	5,56%	0,00%	0,70%
SUMA			58,40%	78,77%	31,53%	43,73%	54,21%	81,24%

Jako optimální opatření je u obvodových stěn zvoleno zateplení pomocí tepelné izolace z expandovaného šedého polystyrenu EPS Grey 100 tloušťky 140 mm, u kterého bylo dosaženo celkové sumy významu kritérií 81,24 %. Toto opatření vykazuje nejvýhodnější ekonomická kritéria. Při investičních nákladech 229 294 Kč a roční úspoře 47 487 Kč dochází k prosté návratnosti investice po 4,8 letech. Z hlediska materiálových charakteristik izolací je nejvyšší váha přidělena dlouhodobé nasákavosti a naopak nejnižší váha tlakové pevnosti.

7.5. Výplně otvorů

Tab. 81: Výplně otvorů - rozhodovací matice

Výplně otvorů - rozhodovací matice								
č.	Výplně otvorů			Plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda	Plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem + dřevěné dveře Masonite	Plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem + bezpečnostní dveře Masonite B2	Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře	Dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA
	Kritérium	jednotka	optimum					
1	Investice	Kč	min	43 710	50 404	88 446	45 790	89 816
2	Finanční úspora	Kč-rok ⁻¹	max	6 877	7 568	8 904	7 202	6 877
3	Návratnost	rok	min	6,4	6,7	9,9	6,4	13,1
4	Snížení spotřeby CO ₂	t-rok ⁻¹	max	0,394	0,448	0,406	0,458	0,394
5	Počet skel	-	max	2	3	3	2	2
6	Propustnost slunečního záření	-	max	0,75	0,7	0,7	0,75	0,75
7	Hmotnost okna 1x1 m	kg	min	31	37,5	39	32,5	34
8	Počet komor v rámu okna	-	max	6	6	8	5	0

Tab. 82: Výplně otvorů - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií

FULLERŮV TROJÚHELNÍK							
1	1	1	1	1	1	1	1
2	3	4	5	6	7	8	
3	4	5	6	7	8		
4	5	6	7	8			
5	6	7	8				
6	7	8					
7	8						
8							

STANOVENÍ RELATIVNÍHO OHODNOCENÍ KRITÉRIÍ				
číslo kritéria	počet bodů	pořadí kritérií P _i	absolutní ohodnocení V _i	relativní ohodnocení F _i
1	6	2	7	0,194444
2	5	3	6	0,166667
3	7	1	8	0,222222
4	4	4	5	0,138889
5	1	7	2	0,055556
6	2	6	3	0,083333
7	3	5	4	0,111111
8	0	8	1	0,027778
SUMA			36	1

Tab. 83: Výplně otvorů - výpočtová rozhodovací matice

Výplně otvorů - výpočtová matice							
č.	Výplně otvorů		Plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda	Plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem + dřevěné dveře Masonite	Plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem + bezpečnostní dveře Masonite B2	Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře	Dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA
	Kritérium	F _i					
1	Investice	0,194444	19,44%	16,62%	0,58%	18,57%	0,00%
2	Finanční úspora	0,166667	0,00%	5,68%	16,67%	2,67%	0,00%
3	Návratnost	0,222222	22,22%	21,21%	10,36%	22,22%	0,00%
4	Úspora CO ₂	0,138889	0,00%	11,72%	2,60%	13,89%	0,00%
5	Počet skel	0,055556	0,00%	5,56%	5,56%	0,00%	0,00%
6	Propustnost slunečního záření	0,083333	1,17%	0,00%	0,00%	1,17%	1,17%
7	Hmotnost okna 1x1 m	0,111111	11,11%	2,08%	0,00%	9,03%	6,94%
8	Počet komor v rámu okna	0,027778	2,08%	2,08%	2,78%	1,74%	0,00%
SUMA			56,03%	64,95%	38,55%	69,28%	8,11%

Jako optimální opatření je u otvorových výplní zvolena výměna stávajících oken a dveří za plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem a dřevěné palubkové dveře model Linda, u kterého bylo dosaženo celkové sumy významu kritérií 69,28 %. Toto opatření vykazuje nejvýhodnější ekonomická kritéria. Při investičních nákladech 49 790 Kč a roční úspoře 7 202 Kč dochází k prosté návratnosti investice po 6,4 letech. Z hlediska výrobních charakteristik je nejvyšší váha přidělena hmotnosti referenčního okna a naopak nejnižší váha počtu komor v rámu okna.

8. VÝSLEDNÁ VARIANTA NÁVRHU ZATEPLENÍ BUDOVY

Dle výše uvedených výpočtů je stanovena výsledná varianta sestávající z následujících opatření. Podlahové konstrukce na zemině jsou zatepleny extrudovaným polystyrenem FIBRAN 300-L tloušťky 120 mm, podlahové konstrukce nad sklepem expandovaným šedým polystyrenem EPS Grey 100 tloušťky 80 mm, strop skleněnou vlnou Isover UNIROL PROFI tloušťky 80 mm, obvodové konstrukce expandovaným šedým polystyrenem EPS Grey 100 tloušťky 140 mm a stávající výplně otvorů jsou nahrazeny plastovými okny VEKA Swingline s izolačním dvojsklem a dřevěnými palubkovými dveřmi model Linda. Ekonomické a ekologické zhodnocení vybrané varianty je uvedeno v Tab. 84.

Tab. 84: Ekonomické a ekologické zhodnocení vybrané varianty

EKONOMICKÉ A EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ VYBRANÉ VARIANTY					
Opatření	Investice [Kč]	Úspora energie [MWh-rok ⁻¹]	Finanční úspora [Kč-rok ⁻¹]	Snížení spotřeby CO ₂ [t-rok ⁻¹]	Prostá doba návratnosti [rok]
Extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm	41 007	2,301	3 353	0,458	12,2
Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm	26 249	4,121	6 004	0,821	4,4
Skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm	30 399	23,133	33 705	4,604	0,9
Expandovaný šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm	229 294	32,592	47 487	6,486	4,8
Plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda	45 790	4,943	7 202	0,984	6,4
Výsledná varianta	372 739	*69,600	*101 407	*13,851	3,7

* Pozn.: Celková úspora energie a snížení spotřeby CO₂ neodpovídá přesně součtu úspory energie a snížení spotřeby CO₂ u jednotlivých opatření z důvodu snížení přírážky na tepelné vazby z 10 % na 5 %.

Nově navržený stav tepelně technických vlastností obálky budovy je zhodnocen pomocí programu Energie 2016 EDU a porovnán se stavem před zateplením. Celková úspora energie, finanční úspora a snížení produkce CO₂ neodpovídá součtu úspor, která přináší jednotlivá opatření zvláště, protože je při zateplení uvažováno také se snížením přírážky na tepelné vazby z 10 % na 5 %.

Celková výše investice 372 739 Kč do zateplení budovy tedy vede ke snížení energetické náročnosti budovy a přináší roční úsporu 69,6 MWh. Vzhledem k tomu, že dochází jen k úspoře energie na vytápění, které je zajištěno plynovým kotlem, je finanční úspora stanovena jako násobek energetické úspory jednotkovou cenou zemního plynu 1 457 Kč. Finanční úspora je tedy 101 407 Kč ročně.

Měrná ztráta konstrukce prostupem tepla je uvedena v Tab 85. V Tab. 86 je pak znázorněno porovnání měrné ztráty prostupem jednotlivými typy konstrukcí před zateplením a po něm. Je zde také uvedena měrná ztráta tepla větráním, ta se však

vzhledem k tomu, že se nemění rozměry budovy ani intenzita výměny vzduchu, neliší od původního stavu budovy.

Tab. 85: Přehled tepelně izolačních vlastností obálky budovy po realizaci zateplení

PŘEHLED TEPELNĚ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ ZATEPLENÉ BUDOVY						
Ochlazovaná konstrukce		Plocha A [m ²]	Součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Doporučený součinitel prostupu tepla	Činitel teplotní redukce b [-]	Měrná ztráta prostupem H _T [W/K]
P1	Podlaha na zemině	28,1	0,268	0,3	0,78	5,8
P2	Podlaha nad suterénem	62,9	0,318	0,4	0,79	15,7
Z1	Obvodová stěna	207,7	0,189	0,2	1,00	39,2
St2	Strop pod půdou	91,0	0,368	0,4	0,74	24,9
O1	Okno plastové VEKA Swingline	12,7	0,866	1,2	1,00	11,0
O2	Okno plastové VEKA Swingline	1,5	0,927	1,2	1,00	1,4
O3	Okno plastové VEKA Swingline	0,4	0,986	1,2	1,00	0,4
O4	Okno plastové VEKA Swingline	0,4	0,986	1,2	1,00	0,4
O5	Okno plastové VEKA Swingline	5,6	0,879	1,2	1,00	4,9
O6	Okno plastové VEKA Swingline	2,5	0,843	1,2	1,00	2,1
O7	Okno plastové VEKA Swingline	1,7	0,866	1,2	1,00	1,5
O8	Okno plastové VEKA Swingline	0,6	0,960	1,2	1,00	0,6
D1	Dřevěné palubkové dveře Linda	1,8	0,900	1,2	1,00	1,6
D2	Dřevěné palubkové dveře Linda	1,3	0,900	1,2	1,00	1,2
Tepelné vazby						20,9
Celkem		418,3				131,6

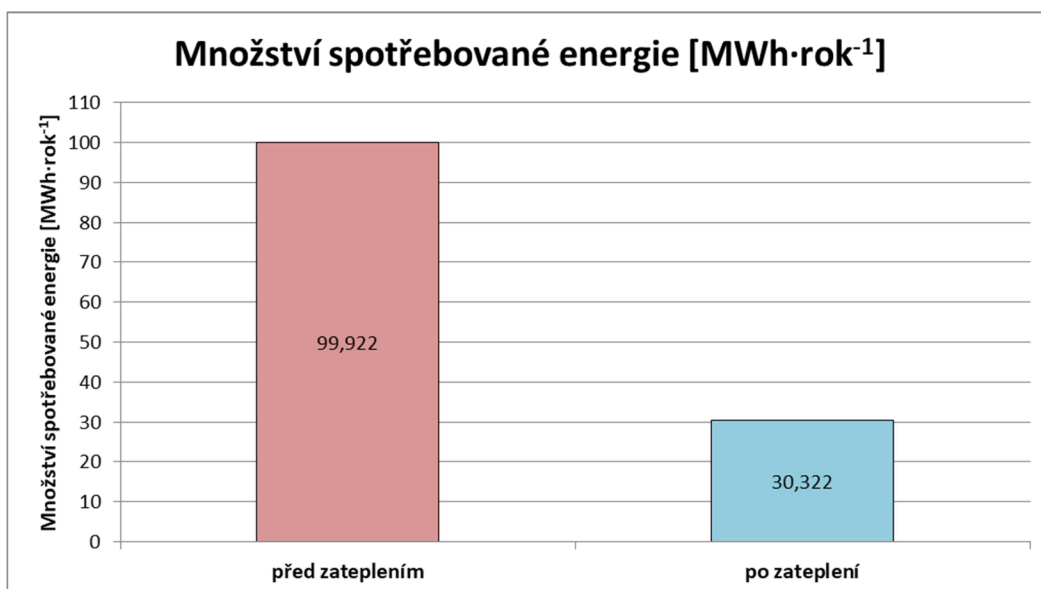
Tab. 86: Srovnání měrných tepelných ztrát před a po zateplení budovy

SROVNÁNÍ MĚRNÝCH ZTRÁT PŘED A PO ZATEPLENÍ		
Typ konstrukce	Měrná ztráta H _T před zateplením [W/K]	Měrná ztráta H _T po zateplení [W/K]
Podlahy	66,1	21,5
Obvodové konstrukce	264,2	39,2
Stropy	184,4	24,9
Výplně otvorů	68,7	25,1
Tepelné vazby	41,8	20,9
Měrná ztráta větráním	133,4	133,4
Celkem	758,6	265,0

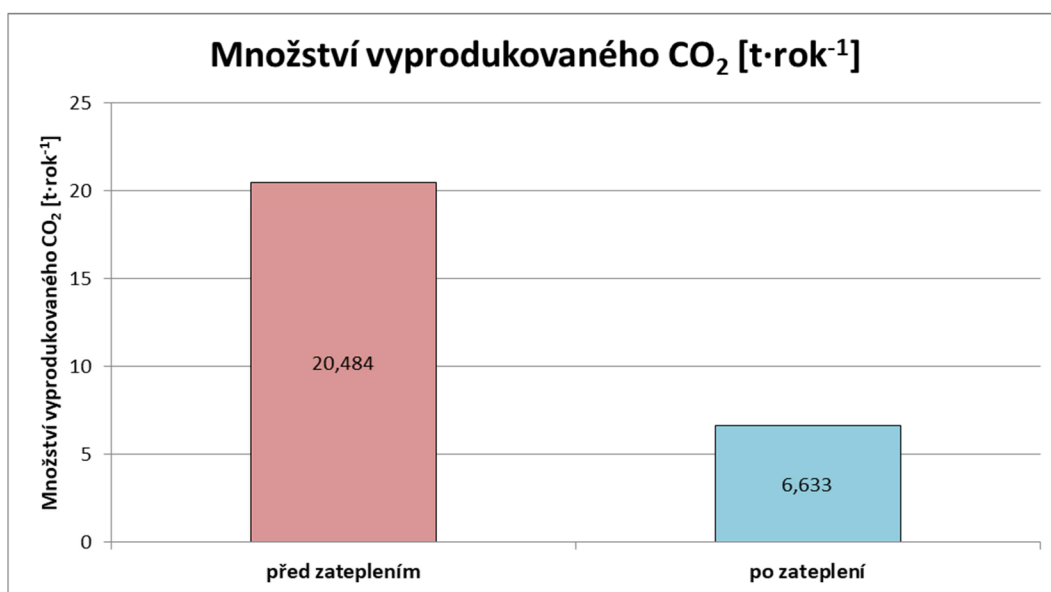
Z Tab. 86 je patrné, že po zateplení budovy došlo ke snížení měrné ztráty tepla přibližně na třetinu hodnoty před zateplením. Porovnání energetické náročnosti budovy a množství vyprodukovaného CO₂, které vzniká provozem budovy, před zateplením a po zateplení je uvedeno v Tab. 87. Na Obr. 24 a Obr. 25 je pak graficky znázorněno snížení energetické náročnosti budovy a snížení produkce CO₂. V obou případech dochází ke snížení přibližně na třetinu původní hodnoty. Tyto poměry jsou tedy v korelaci s poměrem tepelných ztrát před zateplením budovy a po něm.

Tab. 87: Porovnání energetické náročnosti budovy a množství vyprodukovaného CO₂ před a po zateplení

SROVNÁNÍ ENERGETICKÉ A EKOLOGICKÉ NÁROČNOSTI PŘED A PO ZATEPLENÍ		
stav	Množství spotřebované energie [MWh·rok ⁻¹]	Množství vyprodukovaného CO ₂ [t·rok ⁻¹]
před zateplením	99,922	20,484
po zateplení	30,322	6,633
úspora	69,600	13,851



Obr. 24: Grafické srovnání energetické náročnosti budovy před zateplením a po zateplení



Obr. 25: Grafické srovnání produkce CO₂ před zateplením a po zateplení

9. ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce je zhodnocen vliv tepelně izolační vlastnosti obálky budovy na její energetickou náročnost. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou shrnuty základní znalosti potřebné pro návrh zateplení budovy a v praktické části jsou nastíněny možnosti snížení energetické náročnosti vybraného objektu a je provedena selekce optimální varianty zateplení.

V teoretické části jsou nejprve v kapitole 2 popsány fyzikální jevy a veličiny, které souvisí se skladbou konstrukcí, které tvoří obálku budovy. V podstatě jediný vliv na stanovení energetické náročnosti budovy má z těchto veličin součinitel prostupu tepla, avšak pro návrh zateplení je nutné zohlednit také difuzi vodní páry a tepelnou akumulaci. V následující 3. kapitole je poté sepsán přehled izolačních materiálů, které se běžně používají ve stavebnictví. Tyto izolanty jsou děleny na materiály přírodní, nerostného původu, pěnové a vakuové. Dále jsou v této kapitole uvedeny základní technologie zateplování pro různé stavební konstrukce (podlahy, obvodové stěny, stropy a střechy). Zvláště je zde popsáno hodnocení tepelně izolační vlastnosti otvorových výplní. Kapitola 4 je věnována studiu zvoleného technologického postupu, který využívá tepelně izolační vlastnosti novodobých stavebních izolantů. Konkrétně se jedná o šedý expandovaný polystyren s grafitovými nanočásticemi.

Pro potřeby praktické části diplomové práce byl prvně navštíven a zaměřen konkrétní stavební objekt, pro který je návrh zateplení proveden. V kapitole 5 je poté popsán stávající stavební a provozní stav budovy a je zde také zhodnoceno technické zařízení budovy. Zjištěné hodnoty jsou jako vstupní data vloženy do programu Energie 2016 EDU, ve kterém je proveden výpočet energetické náročnosti budovy. Výstupem tohoto programu je mimo jiné výpočet celkové roční spotřeby energie 99,922 MWh a roční produkce CO₂ 20,484 t, která vzniká provozem budovy. Je nutno podotknout, že tyto hodnoty jsou poměrně vysoké. Je to způsobeno tím, že se jedná o teoretickou spotřebu energie, která vychází z normových výpočtů stanovených výpočetním programem. Pro přesnější stanovení spotřeby energie by bylo vhodnější vycházet z fakturace odběru zemního plynu a elektrické energie. Tyto zdroje se však pro potřeby diplomové práce nepodařilo získat.

Dále je v této kapitole pro každý typ konstrukce (podlaha na zemině, podlaha nad sklepem, strop a obvodové stěny) navrženo šest opatření ze tří izolačních materiálů dvou různých tloušťek pro zlepšení tepelně izolační vlastnosti obálky

budovy. Tato opatření jsou koncipována tak, aby v bylo pro každý materiál dosaženo v jednom případě požadovaného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle normových požadavků [3] a v druhém případě doporučeného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle stejné normy. Pro výplně otvorů je navrženo pět opatření výměny stávajících výplní za nové. U všech těchto opatření je dosaženo doporučeného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle uvedené normy. 6. kapitola je věnována výpočtu součinitelů prostupu tepla konstrukcemi po provedení jednotlivých opatření a stanovení výše investice do jednotlivých opatření. Následně je zde provedeno vyhodnocení potenciálních úspor, které by jednotlivá opatření přinesla. Energetické úspory a úspory produkce CO₂ jsou stanoveny výpočtem pomocí programu Energie 2016 EDU a porovnáním se spotřebou energie a produkcí CO₂ před provedením jednotlivých opatření. Vzhledem k tomu, že se jedná o úsporu energie na vytápění, které je zajištěno plynovým kotlem, jsou finanční úspory přímo úměrné energetické úspoře. Je zde uvažováno s průměrnou jednotkovou cenou zemního plynu. Jedná se o zjednodušenou úvahu, neboť ve skutečnosti závisí cena zemního plynu na více faktorech, např. na dodavateli, množství spotřebovaného plynu, distribuční sazbě apod. Vzhledem k absenci faktur spotřeb energií je tedy uvažováno pouze s jednotkovou cenou. V kapitole 7 je metodou vícekritériálního párového srovnání provedena selekce opatření pro každý typ konstrukce. Jsou zde zohledněna hlavně finanční kritéria, zejména výše investice, finanční úspora a doba návratnosti, ekologické kritérium snížení produkce CO₂ a v závislosti na typu konstrukce také materiálová kritéria tepelných izolantů a výrobová kritéria otvorových výplní. Vybraná opatření jsou poté v kapitole 8 zkombinována do výsledné varianty zateplení celého objektu. Výstupem výpočetního programu je poté roční úspora spotřebované energie z původní hodnoty 99,9 MWh na 30,3 MWh a vyprodukovaného CO₂ z 20,5 t na 6,6 t.

Jedná se o úsporu na přibližně 30 % původních hodnot. Tento výrazný pokles nemusí přesně odpovídat realitě, neboť je uvažováno s chováním uživatelů budovy dle předepsaných norem a také zde není zohledněna spotřeba elektrické energie instalovaných elektrospotřebičů. Ve skutečnosti by tedy po zateplení bylo dosaženo výrazné úspory energie, ta by však pravděpodobně byla nižší, než bylo vypočteno.

10. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1. Seznam obrázků

Obr. 1: Průběh teplot při vedení tepla tříplášťovou konstrukcí [1]	13
Obr. 2: Schéma tepelných toků při sálání skrze stavební konstrukci	15
Obr. 3: Aplikace celulózové izolace foukáním [8]	26
Obr. 4: Dřevovláknitá izolační deska Steico protect [10]	27
Obr. 5: Minerální čedičová vlna Isover AKU [12]	29
Obr. 6: Expandovaný polystyren Styrotrade EPS 50 Z [13].....	30
Obr. 7: Extrudovaný polystyren Styrodur 2800 C [12]	31
Obr. 8: Obvodový sendvičový panel KS1150 NC/TC s PIR izolací [14]	32
Obr. 9: Deska z pěnového skla FOAMGLAS® T3+ [15].....	33
Obr. 10: Obrázek z elektronového mikroskopu ilustrující strukturu aerogelu v podání pyrogenní kyseliny křemičité, která připomíná prostorovou síť. [8].....	35
Obr. 11: Skladba podlahy na terénu zateplené izolací z pěnového skla	37
Obr. 12: Vnější zateplovací systém ETICS s izolací z expandovaného polystyrenu [17].....	38
Obr. 13: Vnější zateplovací systém ETICS s izolací z minerální vlny [17].....	38
Obr. 14: Aplikace foukané izolace [18].....	40
Obr. 15: Nákras šikmé střechy zateplené nadkrokevní tepelnou izolací [19]	41
Obr. 16: Schéma okna pro výpočet součinitele prostupu tepla U_w [20].....	42
Obr. 17: Schéma okna s izolačním trojsklem s pokovením vnějších skel [21]	43
Obr. 18: Závislost součinitele tepelné vodivosti λ EPS na jeho objemové hmotnosti ρ_v [22]	44
Obr. 19: Šedý expandovaný polystyren Isover [24]	45
Obr. 20: Fotografický snímek posuzovaného rodinného domu	47
Obr. 21: Púdorys 1.NP a 2.NP rodinného domu	48
Obr. 22: Řez budovou a skladba konstrukcí	49
Obr. 23: Grafické znázornění poměru tepelných ztrát stávajícího stavu budovy	54
Obr. 24: Grafické srovnání energetické náročnosti budovy před zateplením a po zateplení	90
Obr. 25: Grafické srovnání produkce CO ₂ před zateplením a po zateplení.....	90

10.2. Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled základních fyzikálních vlastností tepelných izolantů [8], [9], [16]	35
Tab. 2: Soubor tabulek stanovení součinitele prostupu tepla obálkových konstrukcí	50
Tab. 3: Soupis ploch a součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí	51
Tab. 4: Měrné tepelné ztráty prostupem jednotlivých konstrukcí.....	53
Tab. 5: Poměr tepelných ztrát hodnocené budovy	53
Tab. 6: Energie spotřebovaná v posuzované budově.....	54
Tab. 7: Výpočet vyprodukovaných emisí CO ₂ v budově.....	54
Tab. 8: Přehled normových hodnot součinitele prostupu tepla U_N jednotlivých konstrukcí [3]	55
Tab. 9: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm - výpočet U	60
Tab. 10: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm - výpočet U	60
Tab. 11: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm - výpočet U	60
Tab. 12: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm - výpočet U	60
Tab. 13: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm - výpočet U	61
Tab. 14: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm - výpočet U	61
Tab. 15: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 80 mm - cena.....	61
Tab. 16: Podlaha na zemině - expandovaný polystyren Isover EPS 100 tl. 120 mm - cena.....	61
Tab. 17: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 80 mm - cena	62
Tab. 18: Podlaha na zemině - extrudovaný polystyren FIBRAN 300-L tl. 120 mm - cena	62
Tab. 19: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 80 mm - cena.....	62
Tab. 20: Podlaha na zemině - pěnové sklo FOAMGLAS W+F tl. 120 mm - cena.....	62
Tab. 21: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm - výpočet U	63

Tab. 22: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm - výpočet U	63
Tab. 23: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 50 mm - výpočet U	63
Tab. 24: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 80 mm - výpočet U	64
Tab. 25: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm - výpočet U	64
Tab. 26: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - výpočet U	64
Tab. 27: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 50 mm - cena	64
Tab. 28: Podlaha nad sklepem - čedičová vlna Isover NF 333 tl. 80 mm - cena	65
Tab. 29: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 50 mm - cena.....	65
Tab. 30: Podlaha nad sklepem - styro EPS 70 F tl. 80 mm - cena.....	65
Tab. 31: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 40 mm – cena	65
Tab. 32: Podlaha nad sklepem - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm – cena	65
Tab. 33: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm - výpočet U	66
Tab. 34: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm - výpočet U	66
Tab. 35: Strop - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 60 mm - výpočet U	66
Tab. 36: Strop - expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm - výpočet U	67
Tab. 37: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm - výpočet U	67
Tab. 38: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm - výpočet U	67
Tab. 39: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 50 mm - cena.....	67
Tab. 40: Strop - skelná vlna Isover UNIROL PROFI tl. 80 mm - cena.....	68
Tab. 41: Strop - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 60 mm - cena.....	68
Tab. 42: Strop - expandovaný polystyren Isover EPS 70 tl. 100 mm - cena	68
Tab. 43: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 50 mm - cena	68
Tab. 44: Strop - šedý polystyren Styrotherm Plus 100 tl. 70 mm - cena	68
Tab. 45: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm - výpočet U	69
Tab. 46: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm - výpočet U	69
Tab. 47: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm - výpočet U	70
Tab. 48: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm - výpočet U	70
Tab. 49: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - výpočet U	70
Tab. 50: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm - výpočet U	71
Tab. 51: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 110 mm - cena	71
Tab. 52: Obvodové stěny - expandovaný polystyren styro EPS 70 F tl. 170 mm - cena	71
Tab. 53: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 100 mm - cena.....	72
Tab. 54: Obvodové stěny - čedičová vlna Isover TF PROFI tl. 160 mm - cena.....	72
Tab. 55: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 80 mm - cena.....	72
Tab. 56: Obvodové stěny - šedý polystyren EPS Grey 100 tl. 140 mm - cena.....	73
Tab. 57: Výplně otvorů - plastová okna PREMIUM round line s izolačním dvojsklem a dřevěné palubkové dveře model Linda, vypočet jednotlivých UW a ceny	74
Tab. 58: Výplně otvorů - plastová okna PREMIUM round line s izolačním trojsklem a dřevěné dveře Masonite, vypočet jednotlivých UW a ceny.....	75
Tab. 59: Výplně otvorů - plastová okna ENERGY plus s izolačním trojsklem a bezpečnostní dveře Masonite B2, vypočet jednotlivých UW a ceny	75
Tab. 60: Výplně otvorů - plastová okna VEKA Swingline s izolačním dvojsklem + dřevěné palubkové dveře model Linda, vypočet jednotlivých UW a ceny.....	76
Tab. 61: Výplně otvorů - dřevěná okna IV 68 s izolačním dvojsklem + palubkové dveře Tredo model VIOLA, vypočet jednotlivých UW a ceny.....	76
Tab. 62: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení podlahy na zemině.....	77
Tab. 63: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení podlahy nad suterénem	77
Tab. 64: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení stropu	78
Tab. 65: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření zateplení obvodových stěn	78
Tab. 66: Zhodnocení úspor jednotlivých opatření výměny výplní otvorů.....	78
Tab. 67: Přehled hodnocených kritérií	79
Tab. 68: Převod písmenného hodnocení třídy reakce na oheň na číselné hodnoty	79
Tab. 69: Podlaha na zemině - rozhodovací matice.....	83

Tab. 70: Podlaha na zemině - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií	83
Tab. 71: Podlaha na zemině - výpočtová matice	83
Tab. 72: Podlaha nad sklepem - rozhodovací matice.....	84
Tab. 73: Podlaha nad sklepem - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií	84
Tab. 74: Podlaha nad sklepem - výpočtová matice	84
Tab. 75: Strop - rozhodovací matice	85
Tab. 76: Strop - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií	85
Tab. 77: Strop - výpočtová matice	85
Tab. 78: Obvodové stěny - rozhodovací matice	86
Tab. 79: Obvodové stěny - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií	86
Tab. 80: Obvodové stěny - výpočtová matice	86
Tab. 81: Výplně otvorů - rozhodovací matice	87
Tab. 82: Výplně otvorů - Fullerův trojúhelník a relativní ohodnocení kritérií.....	87
Tab. 83: Výplně otvorů - výpočtová rozhodovací matice	87
Tab. 84: Ekonomické a ekologické zhodnocení vybrané varianty	88
Tab. 85: Přehled tepelně izolačních vlastností obálky budovy po realizaci zateplení	89
Tab. 86: Srovnání měrných tepelných ztrát před a po zateplení budovy.....	89
Tab. 87: Porovnání energetické náročnosti budovy a množství vyprodukovaného CO2 před a po zateplení	90

11. POUŽITÉ PODKLADY A LITERATURA

- [1] <http://jandur.cz/termodynamics/t1/t11.htm>, verze leden 2018
- [2] Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, tepelná ochrana budov, Jaga group Bratislava 1998,
- [3] ČSN 73 0540-2:2011, Tepelná ochrana budov, část 2: Požadavky na stavební konstrukce, ÚNMZ Praha 2011
- [4] Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce "Větrání a klimatizace". Bolit, 1993
- [5] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/>, verze leden 2018
- [6] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelna-akumulace-a-teplotni-setrvacnost-u-drevost/>, verze leden 2018
- [7] Davies, Morris, G., Building Heat Transfer, John Wiley 2004
- [8] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/>, verze leden 2018
- [9] <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/301-izolace-z-obnovitelnych-surovin-drevo-celuloza-konopi-ovci-vlna-slama>, verze leden 2018
- [10] <http://www.steico.com/cz/produkty/prehled/>, verze leden 2018
- [11] <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/298-mineralni-izolace>, verze leden 2018
- [12] <http://www.isover.cz>, verze prosinec 2017
- [13] <http://www.levnestavebniny.cz/penovy-polystyren-styrotrade-eps-50-z-.7893/>, verze leden 2018

- [14] <https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stenove-izolacni-panely/stenovy-sendvicovy-panel-ks1150-tc-nc>, verze leden 2018
- [15] <https://cz.foamglas.com/cs-cz/produkty/prehled-vyroby-z-penoveho-skla-foamglas-a-prislusenstv/desky-z-penoveho-skla-foamglas/foamglas-t3>, verze leden 2018
- [16] http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html, verze leden 2018
- [17] <http://rinvest.cz/etics>, verze leden 2018
- [18] <http://www.chytrezatepleni.cz/zatepleni-stropu.php>, verze leden 2018
- [19] <http://www.ceskykutil.cz/materialy/izolace/zatepleni-sikmych-strech-postup-prace>, verze leden 2018
- [20] ČSN EN ISO 10077-1 Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Všeobecně, ÚNMZ Praha 2007
- [21] <https://oknoland.cz/dvojsklo-nebo-trojsklo/>, verze leden 2018
- [22] thd.fce.vutbr.cz/stahni.php?soubor=659-spec-izol-4-tep-izol-pp, verze březen 2017
- [23] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/neopor-nova-generace-tepelne-izolace/>, verze leden 2018
- [24] <http://www.centrum-zatepleni.cz>, verze prosinec 2017
- [25] Vyhláška č. 230/2015 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, MPO Praha 2015
- [26] TNI 73 0331 Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet, ÚNMZ Praha 2013
- [27] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, ÚNMZ Praha 1994
- [28] <https://www.zatepleni-fasad.eu>, verze prosinec 2017
- [29] <https://www.dek.cz/>, verze prosinec 2017
- [30] <http://www.vhh.cz/wp-content/uploads/2015/01/CENIK-OSV%C4%8C-2015-2.pdf>, verze prosinec 2017
- [31] <https://styroshop.cz>, verze prosinec 2017
- [32] systemy-etics/styro-eps-70f/, verze prosinec 2017
- [33] <https://www.poptavky-stavebni.cz/inpage/cenik-zatepleni-strech-a-stropu/>, verze prosinec 2017
- [34] <http://www.nej-izolace.cz/isover/eps-grey-100/>, verze prosinec 2017
- [35] <https://www.oknostyl.cz>, verze prosinec 2017
- [36] <https://www.dvere.cz>, verze prosinec 2017
- [37] <https://www.cenyenergie.cz/soucasna-cena-kubiku-m3-a-kwh-zemniho-plynu/#/promo-ele>, verze leden 2015
- [38] <https://www.basf.com/cz/cz.html>, verze leden 2018
- [39] Pytlík, P., Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM Brno 1998