



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRHY OPATŘENÍ NA SNIŽOVÁNÍ TEPELNÝCH ZTRÁT
RODINNÉHO DOMU**

PROPOSALS FOR MEASURES TO REDUCE THE HEAT LOSS OF A HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Faltýnek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: Michal Faltýnek
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrhy opatření na snižování tepelných ztrát rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náklady na vytápění patří mezi základní výdaje každé domácnosti, proto se vyplatí hledat možné úspory, které by se pozitivně projevíly při ekonomické bilanci. Některá opatření nejsou z dlouhodobého hlediska výhodné. V rámci bakalářské práce budou provedeny návrhy pasivních i aktivních opatření, které povedou ke snížení energie potřebné pro vytápění rodinných domů.

Cíle bakalářské práce:

- tvorba přehledu možných opatření vedoucích ke snížení tepelných ztrát domu
- výpočet tepelných ztrát vzorového domu
- návrhy konkrétních opatření úspor pro konkrétní dům
- ekonomické posouzení návrhů

Seznam doporučené literatury:

HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999. Stavitel. ISBN 80-716-9657-9.

ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - výpočet tepelného výkonu. 1. Praha: Český normalizační institut.

ČSN EN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov. 1. Praha: Český normalizační úřad.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhy opatření na snížení tepelných ztrát rodinného domu. Nejdříve je provedena rešerše, která teoreticky popisuje, co je to tepelná ztráta, jak ji můžeme snížit a jaké materiály používají jako tepelná izolace. V další části je popsán náš modelový dům, ze kterého vystupujeme v praktické části. Na modelovém domě byl proveden výpočet tepelných ztrát dle normy ČSN EN 12831. Následně je navrženo několik opatření za účelem snížení tepelných ztrát a úspory za vytápění. Na konci práce je u těchto opatření určena návratnost investice a zhodnoceno jejich opodstatnění.

Klíčová slova

Tepelná ztráta, návratnost investice, tepelná izolace

ABSTRACT

This Bachelor's Thesis addresses the draft measures for reduction of heat loss in a family house. Research is discussed in the first part. It theoretically describes the subject of heat loss, possible ways to reduce it and it also goes over the materials that are used for thermal insulation. The next part of the text describes the house model that is used to demonstrate the calculation of heat loss according to ČSN EN 12831. Subsequently, several precautions are proposed in order to reduce heat loss and financial expenses. The end of my work covers the return of investments based on the precautions as well as the evaluation of their foundation.

Key words

Heat loss, return of investments, thermal insulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FALTÝNEK, M. *Návrhy opatření na snižování tepelných ztrát rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 53 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrhy opatření na snižování tepelných ztrát rodinného domu** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Marku Balášovi, PhD. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Tepelné ztráty	12
1.1 Součinitel prostupu tepla	12
1.2 Tepelný odpor konstrukce	12
2 Zamezení tepelných ztrát	13
2.1 Stěny	13
2.1.1 Vnitřní izolace	13
2.1.2 Vnější izolace	13
Provětrávaná fasáda	14
2.2 Druhy izolace	15
2.2.1 Pěnový polystyren EPS	15
2.2.2 Extrudovaný polystyren XPS	16
2.2.3 Pěnový polyuretan PUR a polyizokyanurát PIR	16
2.2.4 Pěnové sklo	17
2.2.5 Vakuová izolace	18
2.2.6 Minerální vlna	18
2.3 Střecha	19
2.3.1 Nadkroevní izolace	19
2.3.2 Mezikroevní a podkroevní izolace	20
2.4 Podlaha	21
2.5 Okna	21
2.5.1 Druhy oken	21
2.5.2 Tepelné ztráty okny	23
2.5.3 Snížení tepelných ztrát u oken	24
2.6 Tepelné mosty	24
3 Normy	26
3.1 Norma ČSN 06 0210	26
3.2 Norma ČSN EN 12831	26
4 Popis rodinného domu	27
5 Výpočet tepelných ztrát	29
5.1 Základní údaje o budově	29
5.1.1 Klimatické podmínky	29
5.1.2 Údaje o místnostech	29

5.1.3	Materiálové charakteristiky	31
5.2	Výpočet celkové tepelné ztráty	32
5.2.1	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	32
5.2.2	Návrhová tepelná ztráta větráním	35
5.2.3	Tepelný zátopový výkon	37
5.2.4	Návrhový tepelný výkon	38
5.3	Roční spotřeba tepla na vytápění	39
5.4	Výpočet nákladu na vytápění pro kotel na zemní plyn.....	40
6	Návrh opatření	41
6.1	1. Varianta zateplení	41
6.2	2. Varianta zateplení	42
6.3	3. Varianta zateplení	43
6.4	4. Varianta zateplení	43
6.5	5. Varianta zateplení	44
7	Zhodnocení tepelně-izolačních opatření.....	45
	ZÁVĚR.....	47
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	48
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	52
	SEZNAM PŘÍLOH	54

ÚVOD

Již naši dávní předci se snažili o zateplení svého obydlí. Dříve se zateplení provádělo hlavně kvůli udržení tepla v domě. V dnešní době se snažíme zateplovat hlavně za účelem snížení výdajů z rodinného rozpočtu za vytápění. Se stále rostoucí cenou energií je zateplení domu jedním z nejlepších opatření, které můžeme provést.

Možností zateplení je několik. Můžeme vyměnit stará okna za okna s lepšími vlastnostmi, zateplit obvodovou zeď nebo izolovat střechu. Při jakémkoliv opatření je však důležité si spočítat návratnost projektu, který chceme provést.

Tato bakalářská práce popisuje, jaké máme možnosti při volbě typu opatření a materiálů. Praktická část spočívá ve spočítání tepelné ztráty modelového rodinného domu. Cílem této práce je navrhnout několik opatření, které vedou ke snížení tepelných ztrát a jejich ekonomické vyhodnocení.

1 Tepelné ztráty

Pokud uvažujeme tepelnou ztrátu vytápěného prostoru, pak je tato ztráta rovna součtu tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním. Je to množství tepla, které prochází konstrukcí v důsledku rozdílů teplot na vnitřní a vnější straně obálky domu. Velikost tepelné ztráty závisí na součiniteli prostupnosti tepla, rozdílu teplot a na daném prostoru. Tepelná ztráta větráním je nevyhnutelná. Větráme z důvodů výměny vzduchu a zabránění nahromadění škodlivých látek v domě. [1]

1.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejích povrchu 1 Kelvin. Součinitel prostupu tepla je závislý na odporu konstrukce. Kromě toho je také ovlivňován vlastnostmi materiálu, ze kterého je složena konstrukce. Výchozí vztah pro výpočet je:

$$U_k = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

U_k [W·m⁻²·K⁻¹] ... součinitel prostupu tepla

R_T [m²·K·W⁻¹] ... odpor konstrukce při přestupu tepla

Z rovnice (1) jsme zjistili, že součinitel prostupu tepla je obrácenou hodnotou odporu konstrukce. [1] [2]

1.2 Tepelný odpor konstrukce

Tepelný odpor vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejích površích dojde k přenosu 1 Wattu, tzn. K přenosu energie 1 J za 1 sekundu.

Pokud známe hodnotu součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu a je-li konstantní, potom povrchy kolmé na směr tepelného toku jsou rovnoběžné a vrstvou tak proudí rovnoměrný tepelný tok. Tepelný odpor je definován vztahem:

$$R = \frac{t}{\lambda} \quad (2)$$

λ [W·m⁻²·K⁻¹] ... součinitel tepelné vodivosti materiálu

t [m] ... tloušťka vrstvy

Tepelný odpor konstrukce je roven součtu tepelných odporů jednotlivých vrstev, ze kterých se skládá konstrukce. [3]

$$R = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad (3)$$

R_{si} [m²·K·W⁻¹] ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně

R_{se} [m²·K·W⁻¹] ... odpor při přestupu tepla na vnější straně

2 Zamezení tepelných ztrát

Tepelné ztráty se snažíme eliminovat z důvodu výdajů za energie a z hygienického hlediska. Tím máme na mysli tvorbu plísni v oblasti tepelných mostů. Další cíle, které se snažíme dosáhnout, jsou zvýšení komfortu a vyšší bezpečnosti při výpadech energií. Nejčastěji se toho docílí pomocí izolace domu. Izoluje se obálka domu, tj. zdi a střecha, ale také je třeba zabránit úniku tepla přes špatně namontované nebo nedostatečně izolovaná okna. [4]

2.1 Stěny

Stěny pokrývají největší procento obvodové části domu. Jsou vystaveny venkovním mrazům, teplu, dešti, sněžení, vlhkosti a dalším změnám počasí. O velikosti tepelných ztrát skrze zdivo rozhoduje také ve velkém množství typ zdiva, který je použit na konkrétní konstrukci. Každý materiál má jinou účinnost při zabraňování úniku tepla z vnitřní části domu. Mezi nejhorší materiály patří plná cihla nebo kámen, avšak právě z těchto důvodů nejsou již obvyklé. K užitečnějším materiálům řadíme například duté cihly nebo pórobetonové tvárnice.

Pro zlepšení koeficientu U můžeme použít izolační vrstvu, která koeficient zmenšuje a zlepšuje tím vlastnosti stěny. Izolanty jsou různého typu a můžeme je také pokládat na vnitřní nebo na vnější stěnu budovy různými způsoby. [4]

2.1.1 Vnitřní izolace

U nás v ČR je to méně používaný typ zateplení. Může se použít v situacích kdy nám není umožněné izolování zvenčí. K tomu může nastat, když máme památkově chráněnou fasádu, společnou zeď se sousedem nebo zeď pod úrovní terénu, ke které se nelze dostat zvenčí. Vnitřní izolace má své nevýhody. Pod izolací se může snadno hromadit vlhkost, houby a růst plíseň. Izolace není tak účinná jako izolace vnější, protože tepelně izolační vrstvou prochází jako tepelné mosty přičky a vnitřní nosné stěny. V neposlední řadě izolace zmenšuje vnitřní prostor místnosti. Při rozměru místnosti 4 x 4 metrů a izolací 2 stěn izolačním tlustým 10 cm se místnost zmenší o 5 % původní plochy.

Nejčastější metodou vnitřního zateplování je obalení všech stěn včetně izolace ostění oken a zatažení izolace až pod okenní rám. Používáme izolace o síle 4-10 cm. Kvůli tepelným mostům nemá cenu používat izolace silnější. Tímto způsobem zateplení dosáhneme nízkoenergetického domu.

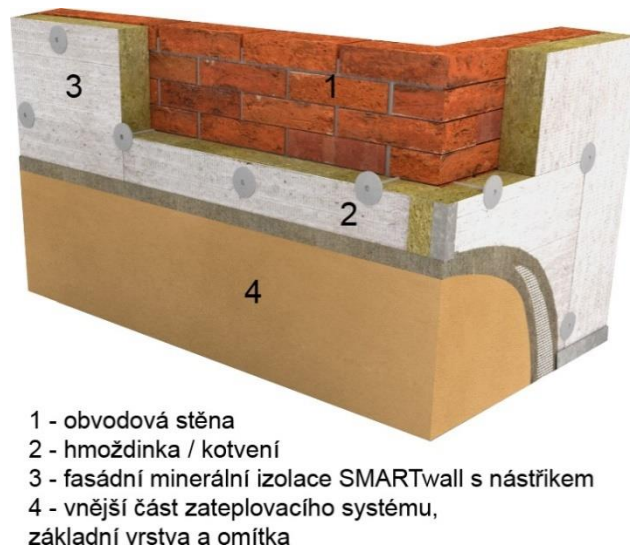
Z pohledu materiálu, který se používá, je nejdůležitější zabránit vzniku vlhkosti pod tepelnou izolací. Vlhkost závisí na množství srážek v místě stavby a propustnosti tepelné izolace. Používá se široká škála materiálů, ale u některých je třeba použít další vrstvy například tzv. parozábrany, což je druh fólie, která zabraňuje pronikání vodní páry ve vzduchu. Tato membrána je nutná u minerálních vln. Mezi další materiály se řadí celulóza a také pěnový polystyren, který se často lepí na silikonový nátěr a kalciumsilikát (např. Ytong Multipor) [5]

2.1.2 Vnější izolace

Existují dva základní typy izolací vnější části fasády. První způsob je kontaktní a druhý funguje na principu provětrávané fasády.

Kontaktní fasáda

Vnější kontaktní zateplovací systém, zvaný ETICS (external thermal insulation composite system), je v České republice nejrozšířenější technologií zlepšování tepelně technických parametrů obvodových plášťů budov. Nejen, že zateplení slouží k zmenšení tepelných ztrát, ale také zabraňuje přehřívání objektu v letních měsících. Tloušťka izolace se vybírá podle podmínek, které na dům působí a podle jeho konstrukce. Tepelně-technické parametry jsou zajištěny vrstvou tepelné izolace, která je tvořena z pěnového polystyrenu, desky nebo lamely z minerálních vláken případně materiálu na bázi polyuretanu a polyisokyanurátu. Při zateplování domu postupujeme tak, že nejdříve tepelnou izolaci nalepíme a ukotvíme na stávající fasádu, která musí být suchá, čistá, vyrovnaná. Pokud je třeba, musí se zdivo, před položením tepelné izolace mechanicky očistit či otryskat tlakovou vodou. Poté na ni natáhneme základní vrstvu, která je složena ze stěrkové hmoty. Na ní přichází skleněná síťovina a poté ještě jedna vrstva stěrkové hmoty. Nakonec se položí omítka. [6]



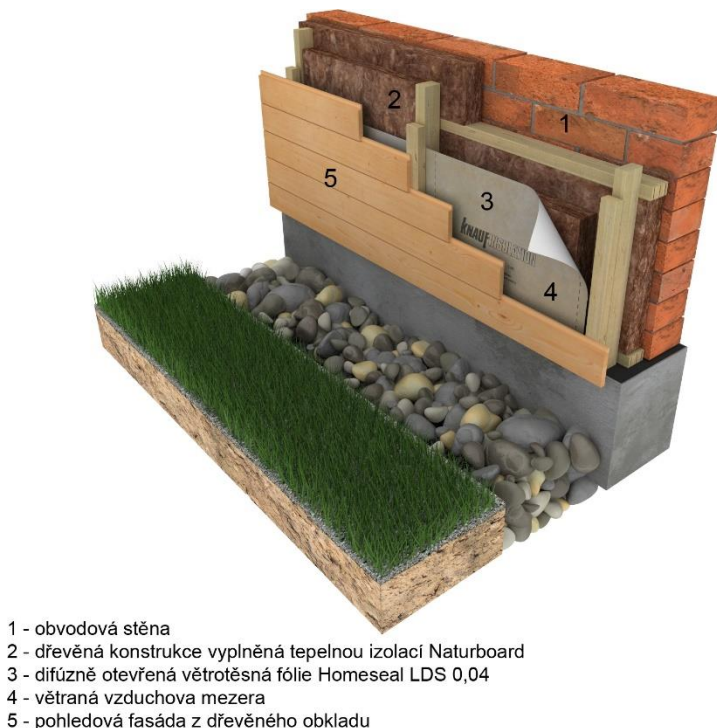
Obr.1 – Kontaktní fasáda [27]

Provětrávaná fasáda

Provětrávaná fasáda se od kontaktní liší tím, že mezi izolační částí a vrstvě vnějšího obkladu leží vzduchová mezera. Ve vzduchové mezeře dochází k tzv. komínovému efektu. Při tomto efektu dochází k proudění vzduchu, které má vliv na odvod vlhkosti z obou přiléhajících povrchů a dochází k vysušování pláště domu. Zároveň zabraňuje přehřívání fasády. Mezi pozitivy se řadí vizuální požadavky, jelikož je možnost výběru jakéhokoliv obkladového materiálu od cihly, dřeva po ocel nebo přírodní kámen. Další plus této metody je tlumení hluku, který přichází z ulice. O tlumení se stará minerální vlna, která hluk pohlcuje. Provětrávaná fasáda se dá kdykoliv rozmontovat, vyměnit obklad za jiný typ materiálu. Oproti kontaktní fasádě není třeba u starších domů upravovat fasádu a čekat na vyschnutí, což zpomaluje proces zateplení o několik týdnů. Díky svým dobrým vysušovacím vlastnostem se provětrávaná fasáda používá nejčastěji u budov s nadměrně vlhkými stěnami.

U provětrané fasády musíme vždy použít difuzně otevřený minerální izolant, aby pára ze zdiva mohla procházet izolací a dostat se do mezery, kterou je odvětrávána. Izolant musí být z vnější strany opatřen folií, která slouží jako těsnicí vrstva. Folie má také funkci ochrany před

venkovním prostředím. Může být UV stabilní nebo UV nestabilní, záleží na materiálu podkladu. Kvůli bezpečnosti se používají pouze nehořlavé izolanty. [7]



Obr.2 – Provětrávaná fasáda [28]

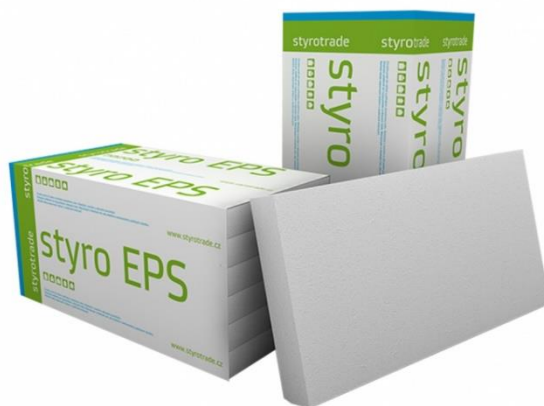
2.2 Druhy izolace

Existuje několik materiálů, které se používají při zateplování různých částí domu. V této podkapitole budou výhody, nevýhody a využití těchto materiálů diskutovány.

2.2.1 Pěnový polystyren EPS

Je to produkt polymerace styrenu, který je zpevňován a nařezán do bloků. Nezbytné je přidání retardérů hoření pro zajištění samozhášivosti materiálu. Součinitel tepelné vodivosti expandovaného polystyrenu se pohybuje okolo $\lambda=0,037$. Číslo typu značí pevnost v tlaku v kPa, vyrábí se v hodnotách 50 až 250 kPa. Kotví se lepením, nebo lepením a mechanicky. Je vhodné použít více vrstev kladených na vazbu pro eliminaci tepelných mostů. Mezi výhody patří nízká cena, nízká hmotnost a jednoduchá manipulace.

Nejnovějším typem EPS je šedý polystyrén Neopor, nebo značky stejného materiálu NeoFloor, GreyWall nebo Lambdapor. Jedná se o novou generaci EPS, která se od běžného polystyrenu liší tepelně-izolačními vlastnostmi. Šedý pěnový polystyren s objemovou hmotností 15 kg/m^3 má součinitel $\lambda = 0,032$. To znamená, že při stejné tloušťce má 15-20 % lepší izolační účinek. Pro dosažení těchto vlastností je třeba přidat uhlíkové nanočástice do polysterenu při vypěnění, které způsobí šedé zbarvení, ale hlavně omezí šíření tepla pěnou a tím zlepši vlastnosti. Nevýhoda je vyšší cena a složitější instalace. [8], [9]



Obr.3 – EPS polystyren [29]

2.2.2 Extrudovaný polystyren XPS

Dodáván ve formě desek s polodrážkou a hranou, využíván pro izolaci soklu, základových desek nebo ve skladbě střech s obráceným pořadím vrstev. Má uzavřené póry. Je proto nenasákavý a lze ho použít pro vlhké prostředí, kde působí jako tepelná izolace. Je účinná součást hydroizolace. Je velmi pevný, ale musí být chráněn před UV zářením. Důležitou součástí jsou i v tomto případě zpomalovače hoření. [8], [9]



Obr.4 – Extrudovaný polystyren XPS [30]

2.2.3 Pěnový polyuretan PUR a polyizokyanurát PIR

Je to vysoce účinná izolace s velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti, který dosahuje hodnoty až $\lambda = 0,023$. Jedná se o velice nízkou hodnotu, která je způsobena omezením sálavé, tedy infračervené složky šíření tepla pěnou, velmi jemná struktura pórů a vysoká hustota přestupových rozhraní mezi tuhou fází a vzduchem. Pěnový polyuretan není odolný vůči UV záření, proto se opatřuje hliníkovou fólií nebo nátěrem. Nevýhoda je vyšší cena oproti EPS a citlivost na UV záření, proto je třeba zajistit ochranný nátěr. Oba materiály se používají ve formě desek nebo pěny, nejčastěji používané pro izolaci střech, či jiných konstrukcí. [8], [9]



Obr.5 – PUR [31]

2.2.4 Pěnové sklo

Vyrábí se ze speciálního hlinitosilikátového skla, rozemletého na prášek a smíchaného s velmi jemným uhlíkovým prachem. Směs je v ocelových formách zahřata, sklo se roztaví, dochází k oxidaci uhlíku na CO₂, který vytvoří z taveniny pěnu a její objem se zvětší. Materiál obsahuje drobné uzavřené bublinky, díky této struktuře je nehořlavá a parotěsná. Nejčastěji se používá na přerušení tepelných mostů, izolace podlah, základů domu. Avšak vysoká cena brání širšímu využití. Prodává se v práscích nebo deskách. Součinitel tepelné vodivosti je 0,04 až 0,048. [8], [9]



Obr.6 – Pěnové sklo [32]

2.2.5 Vakuová izolace

Na všech předešlých typech izolací se vždy v nějakém smyslu podílí vzduch. Jde však docílit mnohem lepších hodnot, pokud vyčerpáme vzduch tak tím potlačíme vliv tepelné vodivosti plynu. Výrobci docilují až 99,999999 % vakua a díky tomu tepelného odporu až 250 m²K/W pro různé tloušťky. Vakuové panely (označované VIP) obsahují tuhou síťovou strukturu složenou z klastrů částic oxidu křemičitého. Tato síť se také nazývá aerogel. Důležitá část panelů VIP je mechanický tuhý obal, který je vzduchotěsný a umožňuje úplné a trvalé odčerpání vzduchu z výplně a bezporuchovou manipulaci při výstavbě. Jejich tloušťka je nejčastěji 2 až 8 cm. Součinitel tepelné vodivosti je 0,004. Mezi hlavní nevýhody řadíme mechanickou zranitelnost, nemožnost do nich řezat, vrtat a hlavně vysokou cenu. [8], [9]



Obr.7- Vakuová izolace [33]

2.2.6 Minerální vlna

Díky dobrému poměru ceny, vlastností a výsledného efektu se minerální vlna řadí mezi jeden z nejpoužívanějších materiálů při realizaci tepelné izolace domu. Nejčastěji vyráběný tavením hornin, nejčastěji jde o čedič nebo křemen. Podle toho rozdělujeme vlnu na kamennou nebo skelnou.

Kamenná vlna vzniká tavením čediče a vstřikováním pojiva, protiplísňových přísad do jemných vláken. Dodávána v rolích, které se nejčastěji používají pro zateplení střech nebo deskách, které se používají převážně na izolaci zdí. Díky vysokému bodu tání, je kamenná vlna odolná ohni. Tato vlastnost je způsobena přítomností čediče. Je nevhodná pro povrchy, které jsou vystavovány větší vlhkosti. Skelná vlna se vyrábí podobným způsobem jako vlna kamenná. Výhody minerální vlny jsou malá tepelná roztažnost, nízký difúzní odpor, a tím i vysoká paropropustnost. Což znamená, že se zkondenzovaná vlhkost v obvodové zdi může odpařovat ven. Díky této vlastnosti se minerální vlna používá hlavně v difúzně otevřených konstrukcích. Součinitel tepelné vodivosti je 0,035. Nevýhody minerální vaty jsou vyšší cena, vysoká objemová hmotnost a její náročnější montáž na fasádu, při které je třeba využít ochranných prostředků, protože při manipulaci může docházet k uvolnění minerálních vláken, která mohou vyvolat záněty kůže nebo alergické reakce. [8], [9]



Obr.8 – Minerální vata [34]

2.3 Střecha

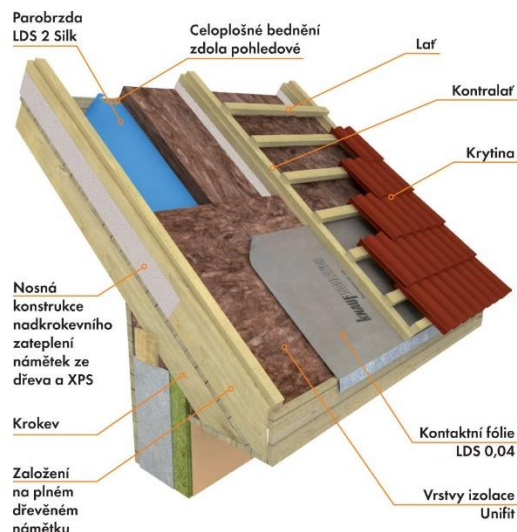
Při izolaci šikmé střechy nové stavby nebo při rekonstrukci stavby stávající si můžeme vybrat ze dvou způsobů zateplení střechy. První způsob se nazývá nadkroevní a druhý způsob se provádí kombinací mezikroevní a podkroevní izolace. [4]

2.3.1 Nadkroevní izolace

Je vhodná jak pro novostavby, tak i pro rekonstrukce. Princip tohoto způsobu spočívá v tom, že se na krokve, které musí být vyrovnané (max. odchylka 5 mm) položí záklop například z palubek či OSB desek, na záklop se poté položí parozábrana, vrstva zateplení, hydroizolace, kontralatě, latě a na závěr střešní krytinu. Tento postup zateplení zaručí viditelné krokve, které vytváří dobrý estetický dojem.

Mezi nejpoužívanější materiály při zateplení střechy patří minerální vlna nebo PUR/PIR panely. Minerální vlna je nehořlavá a pružná. Její pružnost umožňuje větší flexibilitu a přizpůsobení nerovnostem. Její nevýhoda je to, že je měkká, a proto na ní nemůžeme pokládat latě a tašky. Je třeba ji vyztužit, například pomocí kovových konzol. Na konzoly se pak přikotví latě střešní krytiny. Kovové konzoly, na kterých není izolace mají dobrou vodivost a tím pádem zde vznikají drobné tepelné mosty. Oproti tomu PUR/PIR panely jsou hořlavé, samozhášivé, pevné, tvrdé desky. Díky jejich vlastnostem na ně můžeme položit pojistnou hydroizolaci a latě rovnou, bez potřeby zajišťování.

Nadkroevní izolaci můžeme kombinovat s izolací mezikroevní a podkroevní. Princip izolace je stejný pouze snížíme tloušťku a vložíme vrstvu mezikrokev. Mezi výhody nadkroevního zateplení patří eliminace tepelných mostů, rychlá montáž a zvětšení obytného prostoru podkroví. Při instalaci nadkroevního prostoru dochází k minimálnímu zásahu do interiéru. Mezi nevýhody můžeme řadit vyšší pořizovací cenu, potřeba chránění proti dešti při stavbě. Nutnost ověřit požární odolnost krovu, pokud jsou krokve viditelné. Jako příklad nadkroevního systému na trhu můžeme uvést systém TOPDEK. [11], [12]



Obr.9 – Nadkrokevní izolace [35]

2.3.2 Mezikrokevní a podkrokevní izolace

Vhodné jak pro rekonstrukce, tak i novostavby. Při pokládání mezikrokevní a podkrokevní izolace postupujeme tak, že nejdřív si naměříme prostor mezi krokvemi. Poté nařežeme minerální vlnu a 1-2 cm širší. První vrstvu vtlačíme mezi krokve, tak aby nevznikla žádná mezera. Protože je vlna pružná, vrátí se do původního rozměru a dokonale přilne ke krokvím. Poté musíme zevnitř připevnit parozábranu, kterou je třeba neprodyšně slepit. V dalším kroku je nutné pod parozábranu připevnit přímé závěsy pro plechové profily budoucího sádkartonového obkladu. Poté mezi plechové profily vložíme další vrstvu izolace. Nakonec zahájíme montáž pohledové části. Stejně jako u nadkrokevní izolace i zde se kromě minerální vaty používají PIR/PUR panely. Výhoda oproti nadkrokevní izolaci je nižší cena a snadnější instalace. [13], [14], [15]



Obr. 10 – Kombinace mezikrokevního a podkrokevního zateplení [36]

2.4 Podlaha

U rodinného domu může unikat podlahou až 10 % tepla. Nejčastěji se provádí zateplení podlah na terénu v nepodsklepeném domě a podlah nad sklepem nebo nad jinými nevytápěnými místnostmi.

Pokud chceme zateplit podlahu podsklepeného domu musíme často vyřešit problém při montáži. Když máme v úmyslu izolovat ze strany vytápěné místnosti, museli bychom zvýšit podlahu a tím pádem i prahy a dveře. Kvůli těmto komplikacím se spíše zatepluje strop u nevytápěné místnosti. V této místnosti se sice zmenší podhled, ale zásah do budovy je v tomto případě mnohem menší. Nejčastěji se používají desky EPS. Jiná alternativa je použití minerální vlny. Minimální tloušťka izolace je 8-10 cm, ideální je však 16 cm tlustá izolace, kterou musíme použít, pokud chceme mít v domě podlahové vytápění. Zde je však třeba mít na mysli, že je izolační materiál nutné vložit pod vytápěnou vrstvu, a ne na podhled. Proto je instalace jednodušší u novostaveb než při rekonstrukci.

U nepodsklepeného domu je třeba nejdříve vyřešit izolaci proti vlhkosti a radonu. Tento problém vyřešíme položením hydroizolační vrstvy. Dále můžeme řešit pouze úniky tepla. Nejčastější postup je položení podlahového polystyrenu do betonové vrstvy s hydroizolační vrstvou a jeho následné zalití druhou vrstvou betonu. Pokud použijeme standardní desky EPS, je třeba použít 10-14 cm desky. Pro splnění nízkoeenergetického standardu desky tlusté 20 cm. Kolem obvodových zdí je často výhodnější použít dražší, lépe izolující desky XPS. [24], [25]

2.5 Okna

Okno je stavební otvor, který zajišťuje pro interiér denní světlo, ochraňuje obyvatele domu před venkovními vlivy a ovlivňuje ráz domů. Mohou být zdrojem poměrně velkých tepelných ztrát, proto pokud zjistíme, že nám utíká přes okna hodně tepla, často zvolíme možnost výměny za okna nové. Musíme ovšem zvážit více variant, například jestli nestačí jejich renovace nebo jestli nemůžeme zamezit úniku tepla jiným způsobem. Při procesu výměny oken je třeba dávat pozor, zdali jsou okna dobře usazené ke zdivu. [4], [16]

2.5.1 Druhy oken

Okna se dělí podle mnoha kritérií. Podle tvaru, podle materiálu, ze kterého je vyrobeno, podle počtu skel, podle materiálů zasklení, podle počtu křídel a podle způsobu otevírání. Díky velkým možnostem na trhu si každý může vybrat okno, které vyhovuje jeho požadavkům. [17]

Plastová okna

Díky své univerzálnosti jsou velice často použitelné na skoro všech typech budov. Mají velmi dobré tepelně-technické vlastnosti, které lze dosáhnout vyplněním jedné nebo i více komor profilu tepelněizolační hmotou. Všeobecně platí, že čím více komor, tím lépe. Standardní jsou tři, pěti, ale už se objevují na trhu i sedmikomorová okna. Plastová okna jsou velmi nenáročná na údržbu, je však třeba kontrolovat těsnění, promazávat pohyblivé části kování a také seřizování polohy křídla. Oproti jiným typům si plastová okna můžeme pořídit v různých barevných provedeních, a dokonce i můžeme mít různé barvy na vnitřní a vnější straně okna.

Mezi nevýhody plastových oken se řadí menší statická únosnost, citlivost plastů na vyšší teploty, které mohou zapříčinit deformaci výrobku a malá tuhost plastového profilu. [18]



Obr.11 – Plastové okno [37]

Dřevěná okna

Vyrábí se ze slepených profilů z jednotlivých dřevěných lamel nebo kombinací dřevěných a lamel z jiného materiálu, které mají lepší tepelněizolační vlastnosti. Dřevěná okna mají velmi dobré tepelně-izolační a zvukové vlastnosti. Pokud se o ně dobře staráme tak mohou mít velmi dlouhou životnost. Jsou vysoce variabilní. Lze libovolně upravovat profily oken, pokud ovšem nedojde ke snížení statické únosnosti. Pomocí nátěrů můžeme dosáhnout nového vzhledu oken.

Nevýhody dřevěných oken jsou vyšší pořizovací cena než u oken plastových, citlivost na ultrafialové sluneční záření, které způsobuje stárnutí laku a degradaci. Proto je třeba každých 5–10 let znovu okna natřít. Při zanedbání údržby oken může do dřeva vniknout vlhkost, kvůli které dochází k zhoršení kvality dřeva a šíření optických vad na povrchu. [19]



Obr.12 – Dřevěné okno [38]

Kovová okna

Nejčastěji používaný na výrobu tohoto typu oken je hliník. Hliníková okna se kromě dvou hliníkových profilů skládají z PVC nebo polyamidu. Spojují obě hliníkové části v jeden celek a v konstrukci mají význam přerušení tepelných mostů. V porovnání s ostatními typy oken má nejlepší statickou odolnost a únosnost. Díky těmto vlastnostem můžeme vyrábět okna mnohem větších rozměrů. Hliníkové profily jsou velmi štíhlé, což přispívá k elegantnímu vzhledu výrobku. Odolné vůči povětrnostním vlivům. Jsou velice lehké, nezatěžují stavební konstrukci tolik, jako okna z jiných materiálů. Jsou v plné míře recyklovatelné. Jejich nevýhoda je vysoká pořizovací cena a horší fyzikální vlastnosti, které nedosahují takových hodnot jako dřevo a plast. [20]



Obr.13 – Hliníkové okno [39]

2.5.2 Tepelné ztráty okny

Radiace

Jedná se o tepelné záření. Snažíme se ho omezovat různým pokovením skel, které způsobí jejich odrazivost pro tepelné paprsky v oblasti dlouhovlnného infračerveného záření, ale zároveň významně nesnižuje světelnou prostupnost. [21]

Infiltrace

Znamená pronikání vzduchu z místnosti do exteriéru. Samozřejmě větrání místností je nutné. Je však třeba větrat s mírou, protože nadměrné větrání nám ubírá velké množství tepla. Současné typy plastových a dřevěných oken mají těsnění na vysoké úrovni, což znamená, že je třeba často větrat nebo používat mikroventilaci, pokud máme tuto možnost. [21]

Konvekce

Jinak známé jako proudění. Je příčinou pohybu vzduchu okolo skel. Nepohyblivý vzduch blízko skel se začne pohybovat kvůli rozdílu teplot. Nejvíce se vyskytuje mezi skly. Hlavně tam, kde jsou ve větší vzdálenosti od sebe. Pro vzduch je ideální hodnota mezery mezi skly 16 mm. Pokud použijeme argon nebo krypton, je ideální vzdálenost nižší. [4]

Vedení

Na rozdíl od pevných látek vodí plyn a vzduch teplo velice špatně. Vedení se projevuje tam kde jsou okna příliš blízko sebe. Pokud použijeme vícenásobné zasklení, je vhodné použít jiný plnicí plyn než vzduch, aby se snížila celková hustota zasklení.

Nevýhoda plynů je vysoká cena. Nejlepší vlastnosti má xenon, je však velmi drahý, proto se spíše používá argon nebo krypton, který má nejlepší poměr cena a užité hodnoty. [4]

2.5.3 Snižování tepelných ztrát u oken

U starých oken můžeme netěsnosti vyřešit těsněním. Existují buď silikonová, pro které je třeba vyfrézovat do oken drážky nebo pryžová těsnění. Důležité je, aby po vložení těsnění neztratilo okno svou schopnost zavírání.

Nejdůležitější je však zateplení skleněných tabulí. To je možno provést několika způsoby. Prvním z nich je fólie, která je pokovená a umístíme ji do meziskelního prostoru. Funguje jako polopropustné zrcadlo. V zimě odráží tepelné záření zpět do místnosti a v létě odráží světlo, které přichází z venku pryč. Další způsob je izolační fólie. Má jednoduché aplikaci, při které stačí přilepit fólii na vnitřní stěnu okna, poté fénem vysušit. Tímto fólie přilne a díky ní se okno chová jako by mělo izolační dvojité sklo. Pokud si necháme nainstalovat dvojskla či trojskla tak taky redukuje tepelné ztráty oproti oknům s jedním sklem. [22], [23]

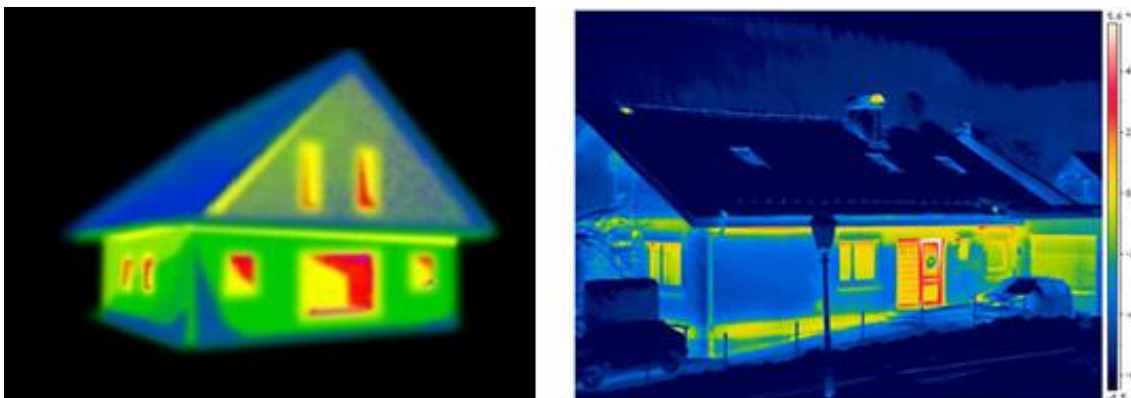
2.6 Tepelné mosty

Tepelný most je místo, které je nedostatečně zateplené, a proto je zde tepelný tok větší než v ostatních místech budovy. Uniká jim tedy více tepelné energie. V interiéru má studenější povrch, a naopak v exteriéru je povrch teplejší než okolní konstrukce. Nejčastěji se tepelné mosty nachází v okolí oken, kde často bývá železobetonová konstrukce kvůli nosnosti okenního nadpraží, mezi jednotlivými tvárnicemi nebo mezi stropními nosníky. Tepelné mosty však nevznikají pouze mezi místy, kde se teplo dostává z interiéru do exteriéru, ale mohou vznikat i uvnitř budovy, např. mezi dvěma nezateplenými prostory, které jsou různě vytápěné.

Mohou být lineární, což je například osazení okna do stěny (jiný název pro tento typ je tepelné vazby, protože se jedná o styk – vazbu – dvou různých konstrukcí) nebo krokvů při zateplování podkroví. Druhý typ jsou bodové, což je například hmoždinka zateplovacího systému s kovovým trnem.

Z hygienického hlediska jsou nežádané, protože se na jejich chladnějších površích může kondenzovat vodní pára. Pokud vlhkost vzroste nad určitou teplotu, tak může hrozit tvorba plísní, které vytváří nevhodné podmínky pro život v objektu. Plísně mohou vznikat i na méně viditelných místech, jako například pod plovoucími podlahami. Tento problém naši předkové nemuseli řešit, jelikož se místo elektrických topení používali kamna na pevné palivo a tím pádem bylo nutné větrat místnost. Při větrání byl v interiéru i v zimě vzduch suchý a díky tomu

nehrozila tvorba plísní. Nyní se kvůli vysokým cenám energií snažíme šetřit i tím, že větrání omezuje na nutné minimum. [9] [26]



Obr. 14 – Tepelné mosty [40]

3 Normy

3.1 Norma ČSN 06 0210

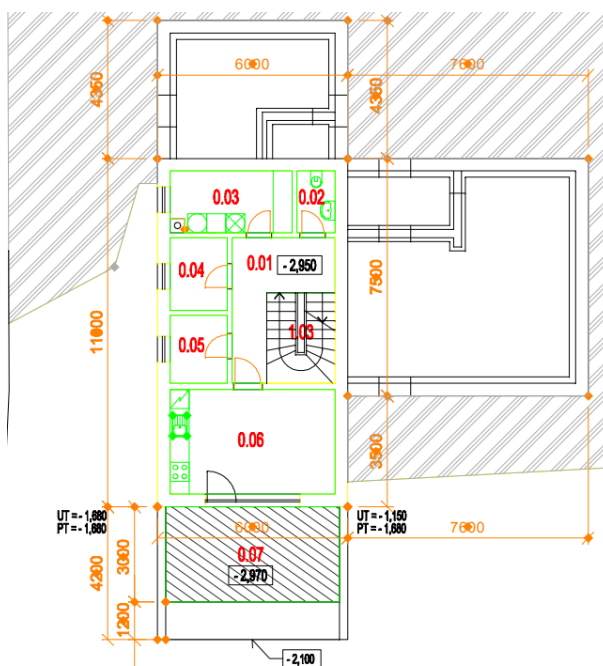
Název je „Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění“. Norma byla v platnosti od května 1994, kdy nahradila do té doby stávající normu. Tato norma stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát budov větráním a prostupem stěnami při nepřerušovaném vytápění jako podklad pro dimenzování ústředního vytápění a pro stanovení tepelné charakteristiky budov. Neplatí pro tepelné ztráty prostorů, které jsou vytápěny sálavými plochami. Můžeme pouze vycházet z jejich principů. Nevztahuje se na výpočet potřeby tepla klimatizací. [1]

3.2 Norma ČSN EN 12831

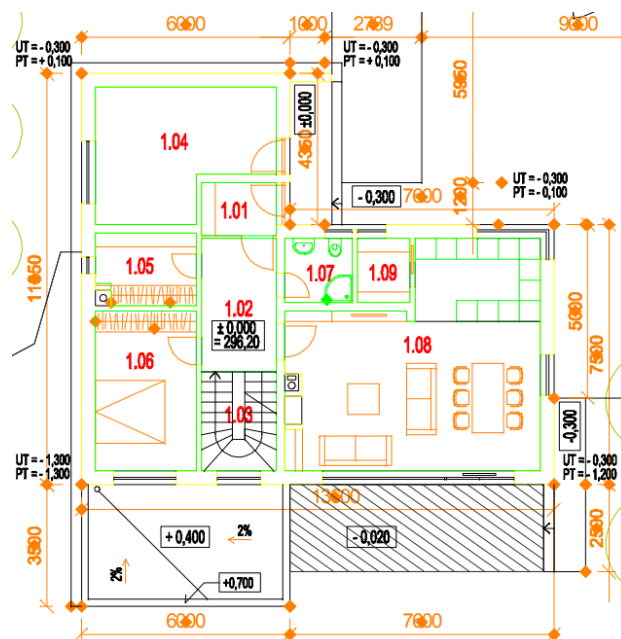
Norma má název „Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu“. Vstoupila v platnost v dubnu 2005 jako náhrada normy stejného označení z roku 2003. Tato norma stanovuje postup výpočtu dodávky tepla, které je nutné k bezpečnému dosažení výpočtové vnitřní teploty. Norma také udává postupy pro výpočet návrhového tepelného výkonu a návrhové tepelné ztráty pro standartní případy. Standartními případy se rozumí budovy s výškou místností menší než 5 metrů a s vytápěním do ustáleného stavu při návrhových podmínkách. [1] V březnu roku 2018 vyšla tato norma v novém vydání. Nové vydání normy upravuje původní normu a je rozdělena na několik částí. Pro naše potřeby stačí ČSN EN 12831-1 „Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor“.

4 Popis rodinného domu

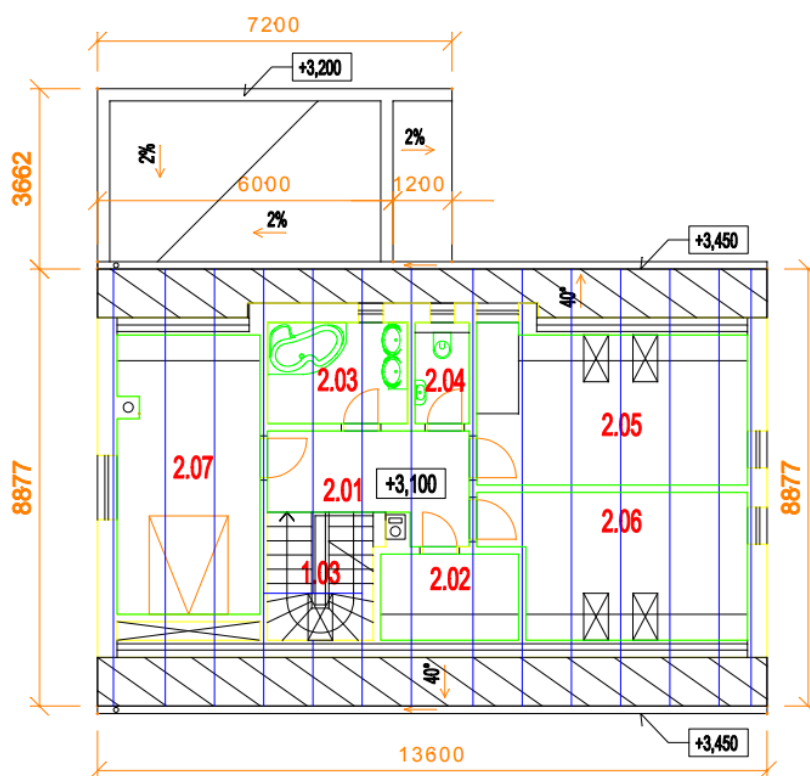
Jedná se o samostatně stojící jednobytový rodinný dům v Brně, částečně podsklepený, s obytným podkrovím. Dispozice domu je 6+kk s celou řadou technických místností. Po pravé straně je před vstupem do domu samostatná dílna. V prvním patře se nachází zádveří, chodba, pracovna, šatna, WC, kuchyň a obývací pokoj a špíz a schodiště, které celý dům propojuje. Později byla k domu dostavěna zimní zahrada, která na výkresech není. Do této místnosti se dostaneme z kuchyně. V podkroví je chodba, která vede do dvou pokojů, ložnice, WC a koupelny. V prvním podzemním patře se z chodby dostaneme do technické místnosti, sklepů, dílny, úložných prostorů a WC.



Obr.15. – 1. podzemní podlaží



Obr.16. – 1. nadzemní podlaží



Obr.17. – 2. nadzemní podlaží

5 Výpočet tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát provedeme podle normy ČSN EN 12831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. [42] Výpočet dle této normy se provádí pro každou místnost zvlášť. Tepelné mosty pro naše účely zanedbáváme, protože nemají na výslednou hodnotu podstatný vliv. Celková tepelná ztráta domu je vypočítaná jako součet tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností, tepelné ztráty větráním a zátopového výkonu.

Dle normy se výpočet rozděluje do jednotlivých kroků:

1. Určení hodnoty výpočtové venkovní teploty a průměrné roční venkovní teploty.
2. Stanovení stavu každého prostoru a hodnoty vnitřní výpočtové teploty každého vytápěného prostoru.
3. Stanovení tepelných a rozměrových vlastností všech stavebních částí a pro každý prostor (vytápěný i nevytápěný).
4. Výpočet součinitele návrhových tepelných ztrát prostupem a zjištění tepelných ztrát prostupem vytápěného prostoru.
5. Výpočet návrhových tepelných ztrát větráním a zjištění tepelných ztrát větráním.
6. Výpočet celkové tepelné ztráty sečtením všech návrhových tepelných ztrát (prostupem i větráním)
7. Výpočet zátopového výkonu vytápěného prostoru
8. Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu, který získáme sečtením zátopového výkonu a sečtením celkových návrhových tepelných ztrát

5.1 Základní údaje o budově

Pokud chceme počítat tepelné ztráty, tak si nejdříve musíme určit několik údajů o našem modelovém domě, které jsou pro výpočet potřebné. Mezi ně patří klimatické podmínky, údaje o místnostech a materiálové vlastnosti jednotlivých částí domu.

5.1.1 Klimatické podmínky

Mezi údaje o klimatických podmínkách patří výpočtová venkovní teplota a průměrná venkovní teplota. Hodnoty jsou branné pro oblast Brno, kde se modelový dům nachází.

Tab.1. Klimatické údaje

Klimatické údaje	Značka	Jednotka	Hodnota
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	°C	-15
Průměrná venkovní teplota	θ_{es}	°C	4,8

5.1.2 Údaje o místnostech

Údaje o místnostech jsou důležitou částí předpokladů pro výpočet, které musíme zjistit, než začneme počítat. Konkrétně je třeba zjistit obsah místnosti a vnitřní objem vzduchu. Poslední důležitou informací o místnostech je teplota, na které jsou místnosti vytápěny. V našem případě vycházíme ze skutečného stavu a nedodržujeme normu, která navrhuje jiné teploty pro konkrétní místnosti.

Tab.2. Rozměry místností a teplota

Místnost	Označení	Výpočtová teplota	Vnitřní objem	Plocha
		θ_{int}	A_i	V_i
		[°C]	[m²]	[m³]
Chodba	001	22	39,008	14,72
WC	002	24	20,67	2,8
Technická místnost	003	22	10,971	7,8
Sklep I	004	22	7,42	4,14
Sklep II	005	22	10,494	3,96
Dílna I	006	18	45,474	17,16
Úložné prostory	007	22	48,0975	16,5
Zádveří	101	18	11,136	3,84
Chodba	102	22	25,52	8,8
Schodiště	103	22	36,63	6,6
Dílna	104	10	53,766	18,54
Šatna	105	22	14,79	4,5
Pracovna	106	22	41,76	14,4
Koupelna	107	24	11,02	3,8
Kuchyň + obývací pokoj	108	22	124,932	43,08
Špíz	109	22	8,816	3,04
Zimní zahrada	110	8	53,55	21
Chodba	201	22	30,6075	11,55
Šatna	202	22	9	7,7
Koupelna	203	24	25,375	8,75
WC	204	24	8,671	2,99
Pokoj I	205	22	68,476	25,84
Pokoj II	206	22	35,305	22,41
Ložnice	207	22	38,43	25,2
Součet			779,919	299,12

V domě se nachází nevytápěné místnosti, takže je třeba spočítat teplotní redukční činitel b_u . Tento činitel zohledňuje rozdíl teplot mezi vytápěným a nevytápěným prostorem.

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (4)$$

kde	$\theta_{int,i}$ [°C]	...	výpočtová teplota vnitřní místnosti
	θ_u [°C]	...	teplota nevytápěné místnosti
	θ_e [°C]	...	výpočtová venkovní teplota
	b_u [-]	...	teplotní redukční činitel

Tab.3. Nevytápěné místnosti

Údaje o nevytápěných místnostech		
místnost	Teplota	b_u
	[°C]	[-]
dílna	10	0,2424
zimní zahrada	8	0,3783

5.1.3 Materiálové charakteristiky

Při výpočtu tepelných ztrát je třeba znát složení jednotlivých stavebních konstrukcí a vlastnosti stavebních materiálů, hlavně **součinitel tepelné vodivosti λ** . Vyjadřuje výkon, který působí na každý metr čtverečné desky, která je tlustá jeden metr a teploty na obou stranách se liší o jeden K. Díky těmto vlastnostem můžeme získat **součinitel prostupu tepla U** . [43], [44]

Tab.4. Vlastnosti materiálů

Číslo stavebního materiálu	Materiál	λ [W/m.K]
1	Beton	1,23
2	Litá podlaha	1
3	Ytong 375	0,11
4	Omítka	0,88
5	Sádrokarton	0,22
6	Polystyren	0,039
7	Extrudovaný polystyren	0,034
8	Minerální vata	0,038
9	Ytong 100	0,13
10	Ytong 150	0,13
11	Ytong 200	0,13
12	Ytong 300	0,13
13	Porotherm	0,13

Další důležitá veličina je tepelný odpor, který se spočítá dle rovnice (2). Pro výpočet je třeba znát hodnoty odporu při přestupu tepla na vnitřní straně a při přestupu tepla na vnější straně. Tyto hodnoty jsou odečteny z normy ČSN 12831. [42]

Tab.5. Hodnoty tepelného toku

Odpor [m ² ·K·W ⁻¹]	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R _{si}	0,1	0,13	0,17
R _{se}	0,1	0,04	0,17

Když známe všechny potřebné hodnoty, můžeme přejít k výpočtu součinitele prostupu tepla. Počítá se podle vzorce (1). Pro zjednodušení výpočtu jsou veškeré zanedbatelné části zanedbané (např. parozábrana).

Tab.6. Výpočet U – obvodová stěna

Obvodová stěna					
Materiál	Popis	d _i	λ	R	U _k
		[m]	[W/m.K]	[m ² ·K·W ⁻¹]	[W/m ² ·K]
	Odpor při prostupu tepla			0,13	
3	Ytong 375	0,375	0,11	3,4091	
4	omítka	0,01	0,88	0,0011	
	Odpor při prostupu tepla			0,04	
Celkové hodnoty		0,385		3,5904	0,27852

V tabulce je uveden jeden ukázkový výpočet, zbytek stavebních konstrukcí je v příloze A.

5.2 Výpočet celkové tepelné ztráty

Výpočet celkové tepelné ztráty se skládá z návrhové tepelné ztráty prostupem tepla vytápěného prostoru a návrhové tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (5)$$

kde Φ_i [W] ... celková návrhová ztráta vytápěného prostoru

$\Phi_{T,i}$ [W] ... návrhová ztráta tepla prostupem vytápěným prostorem

$\Phi_{V,i}$ [W] ... návrhová ztráta tepla větráním vytápěného prostoru

5.2.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Se spočítá podle rovnice:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (6)$$

kde $H_{T,ie}$ [W/K] ... tepelná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obálku domu

$H_{T,iue}$ [W/K] ... tepelná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí skrz nevytápěný prostor

$H_{T,ig}$ [W/K] ... tepelná ztráta z vytápěného prostoru do zeminy

$H_{T,ij}$ [W/K] ... tepelná ztráta z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s velmi odlišnou teplotou

$\theta_{int,i}$ [°C] ... vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru

θ_e [°C] ... výpočtová venkovní teplota

5.2.1.1 Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obálku domu

Zahrnuje všechny stavební části budovy, které patří do obálky domu. Podle normy můžeme použít dva postupy při výpočtu. První, který uvažuje s přítomností tepelných mostů, které však nemají velký vliv na výslednou hodnotu a druhý, který uvažuje korekční součinitel, který zahrnuje přítomnost tepelných mostů.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad (7)$$

kde A_k [m²] ... plocha stavební části

U_k [W·m⁻²·K⁻¹] ... součinitel prostupu tepla stavební částí

e_k [-] ... korekční činitel

5.2.1.2 Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do prostředí přes nevytápěný prostor

Tento součinitel využíváme, pokud se mezi vytápěnou místností a venkem nachází nevytápěný prostor přes který dochází k tepelným ztrátám. Vypočítá se podle vztahu:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u \quad (8)$$

kde b_u [-] ... teplotní redukční součinitel

5.2.1.3 Součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad (9)$$

kde f_{g1} [-] ... korekční činitel, který zohledňuje vliv ročních změn teplot

f_{g2} [-] ... korekční činitel, který zohledňuje rozdíl mezi průměrnou roční teplotou a výpočtovou venkovní teplotou

$U_{equiv,k}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] ... ekvivalentní součinitel tepla stavební částí

G_w [-] ... korekční činitel zohledňující vliv spodních vod

Hodnoty f_{g1} a G_w odečteme z normy [42]. Korekční činitel f_{g2} vypočítáme podle vztahu:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (10)$$

kde $\theta_{m,e}$ [$^{\circ}C$] ... průměrná roční venkovní teplota

Ekvivalentní součinitel závisí na typu podlahy. K určení součinitele je třeba znát parametr B' , který určíme z následujícího vztahu.

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad (11)$$

kde A_g [m^2] ... plocha dané podlahové konstrukce

P [m] ... obvod dané podlahové konstrukce

5.2.1.4 Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do prostoru vytápěného na výrazně rozdílnou teplotu

Součinitel vyjadřuje tok tepla prostupem z vytápěného prostoru do prostoru, který je také vytápěn, ale na jinou teplotu. Vypočítá se podle tohoto vztahu:

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{ij} \quad (12)$$

kde f_{ij} [-] ... redukční teplotní činitel

Redukční teplotní činitel zastupuje funkci korigování teplotního rozdílu mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtové teploty. Pro jeho výpočet nám slouží následující vztah:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytap.sous.prost.}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (13)$$

kde $\theta_{vytap.sous.prost.}$ [$^{\circ}C$] ... teplota sousedního vytápěného prostoru

Tab.7. – Výpočet tepelné ztráty

006 – Dílna I					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A _k	U _k	e _k	A _k ·U _k ·e _k
		m²	W/m²·K	[-]	W/K
	Obvodová stěna - Sklep	26,5	0,297049	1	7,8718
	Okna	2,4	1,8	1	4,32
Celkový součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí		$HT,ie = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$			12,1918
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Součinitel tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					0
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B´		A _g	P	B´=A _g /P·0,5	
		m2	m	m	
		17,16	17	2,01882	
Stavební část		U _k	U _{equiv,k}	A _k	A _k ·U _{equiv,k}
		W/m²·K	W/m²·K	m²	W/K
Základová podlaha		0,33936	0,16	17,16	2,7456
Korekční činitelé		f _{g1}	f _{g2}	G _w	f _{g1} ·f _{g2} ·G _w
		[-]	[-]	[-]	[-]
		1,45	0,4	1	0,58
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou		$H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$			1,592448
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty					
Stavební část		f _{ij}	A _k	U _k	f _{ij} ·A _k ·U _k
		[-]	m²	W/m².K	W/K
Sklepní stěna		-0,12121	8,48	0,297954	-0,30625
Dveře		-0,12121	1,76	1,9	-0,40533
Součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami		$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$			-0,7115
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem		$H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$			13,0967
Venkovní výpočtová teplota			θ _e	°C	-15
Vnitřní výpočtová teplota			θ _{int,i}	°C	18
Návrhová tepelná ztráta prostupem			$\Phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$		431,4386

V tabulce vypočítaná jedna místnost jako příklad, ostatní místnosti jsou vypočítané stejným způsobem a jsou v příloze.

5.2.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Při větrání dochází k úniku tepla z budovy. Tento typ tepelné ztráty se vypočítá podle rovnice:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (14)$$

kde $H_{V,i}$ [W/K] ... součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

5.2.2.1 Součinitel návrhové tepelné ztráty

Se dle normy vypočítá podle zjednodušené rovnice:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_l \quad (15)$$

kde $\dot{V}_l$ [m³·h⁻¹] ... výměna vzduchu ve vytápěném prostoru

5.2.2.2 Součinitel výměny vzduchu ve vytápěném prostoru

$\dot{V}_l$ je hodnota, která udává průtok vzduchu z vytápěného prostoru. Je definovaná podle rovnice:

$$\dot{V}_l = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad (16)$$

kde $\dot{V}_{inf,i}$ [m³·h⁻¹] ... množství vzduchu vyměněné infiltrací ve vytápěném prostoru

$\dot{V}_{min,i}$ [m³·h⁻¹] ... minimální výměna vzduchu nutná z hygienických důvodů

5.2.2.3 Minimální výměna vzduchu

Minimální výměna vzduchu se vypočítá dle rovnice:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (17)$$

kde n_{min} je minimální intenzita výměny venkovního vzduchu, stanoví se podle normy, jelikož nám nejsou známe hodnoty na národní úrovni.

Tab.8. Intenzita výměny vzduchu

Minimální intenzita výměny vzduchu n_{min}	
Druh místnosti	n_{min}
	h ⁻¹
Obytná místnost	0,5
Kuchyň nebo koupelna s oknem	1,5
Kancelář	1
Zasedací místnost, učebna	2

5.2.2.4 Infiltrace pláštěm budovy

K výpočtu použijeme vztah:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (18)$$

kde n_{50} [h⁻¹] ... intenzita výměny vzduchu pro budovu

e_i [-] ... stínící činitel

ε_i [-] ... výškový korekční činitel

Protože není dostupná hodnota intenzity výměny pro budovu n_{50} a hodnoty stínícího a výškového korekčního činitele na národní úrovni bereme hodnoty z normy ČSN EN 12831 z příloh D.5.3 respektive D.5.4. [42]

Tab.9. Tepelná ztráta větráním

006 – Dílna I			
Objem	V_i	m ³	45,474
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	°C	-15
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{int,i}$	°C	18
Intenzita výměny vzduchu	$n_{min,i}$	h ⁻¹	0,5
Hygienické množství vzduchu	$\dot{V}_{min,i}$	m ³ /h	22,737
Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	n_{50}	h ⁻¹	6
Činitel zaclonění	e_i	-	0,03
Výškový činitel	ε_i	-	1
Množství vzduchu infilrací	$\dot{V}_{inf,i}$	m ³ /h	16,37064
Průtok vzduchu	V_i	m ³ /h	22,737
Součinitel tepelné ztráty	$H_{V,i}$	W/K	7,73058
Tepelná ztráta větráním	$\Phi_{V,i}$	W	255,1

5.2.3 Tepelný zátopový výkon

Zátopový výkon je dodatečný výkon potřebný pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění. Závisí na akumulacích vlastnostech stavebních částí, době zátopu, teplotním poklesu po dobu útlumu a vlastnostech regulačního a řídicího systému. Vypočítá se podle vzorce:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad (19)$$

A_i [m²] ... podlahová plocha

f_{RH} [-] ... zátopový součinitel

Zátopový součinitel určíme podle normy, pro náš případ počítáme dobu zátopu 4 hodiny a pokles vnitřní teploty při teplotním útlumu 3 K. Pro tyto parametry dostaneme z tabulky hodnotu 13. [42]

Tab. 10. Výpočet tepelného výkonu

Výpočet tepelného výkonu			
Označení místnosti	Podlahová plocha	Zátopový součinitel	Zátopový výkon
	A_i	f_{RH}	$\Phi_{RH,i}$
	[m ²]	[-]	[W]
001	14,73	13	191,36
002	2,8	13	36,4
003	7,8	13	101,4
004	4,14	13	53,82
005	3,96	13	51,48
006	17,16	13	223,08
007	16,5	13	214,5
101	3,84	13	49,92
102	8,8	13	114,4
103	6,6	13	85,8
105	4,5	13	58,5
106	14,4	13	187,2
107	3,8	13	49,4
108	43,08	13	560,04
109	3,04	13	39,52
201	11,55	13	150,15
202	7,7	13	100,1
203	8,75	13	113,75
204	2,99	13	38,87
205	25,84	13	335,92
206	22,41	13	291,33
207	25,2	13	327,6
Součet			3375

5.2.4 Návrhový tepelný výkon

Návrhový tepelný výkon je součet tepelné ztráty prostupem, větráním a zátopového výkonu. Spočítá se podle vzorce:

$$\Phi_{HL} = \Phi_T + \Phi_V + \Phi_{RH} \quad (20)$$

Tab.11. Celkový tepelný výkon

Výpočet celkového tepelného výkonu				
Výkon pro ztráty prostupem	Výkon pro ztráty větráním	Zátopový tepelný výkon	Celkový tepelný výkon	Celkový tepelný výkon
Φ_T	Φ_V	Φ_{RH}	Φ_{HL}	Φ_{HL}
W	W	W	W	kW
5624	6981	3375	15980	15,980

5.3 Roční spotřeba tepla na vytápění

Pro zjištění celkových nákladů na vytápění musíme nejdříve určit roční potřebu tepla na vytápění. Tuto hodnotu zjistíme pomocí výpočtu přes vytápěcí denostupně, které pak dosadíme do výsledného vzorce pro roční spotřebu. Výpočet byl uskutečněn pomocí webu TZB-info [41]

$$Q_{v,r} = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Phi_{HL,i} \cdot D}{\theta_{m,int} - \theta_{m,e}} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (21)$$

e_i [-] ... nesoučastnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem. Zvoleno 0,85.

e_t [-] ... snížení teploty v místnosti během dne respektive noci. Zvoleno 0,90.

e_d [-] ... zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami provozu. Zvoleno 1.

η_o [-] ... účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy. Zvoleno 0,95.

η_r [-] ... účinnost rozvodu vytápění. Zvoleno 0,95.

D [K·dny] ... vytápěcí denostupně

$$D = d \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (22)$$

d [den] ... počet dnů, během kterých je dům vytápěn.

$\theta_{m,int}$ [°C] ... průměrná teplota interiéru

$\theta_{m,e}$ [°C] ... průměrná venkovní teplota

Tab.12. Výpočet denostupně

Výpočet vytápěcí denostupně			
d	$\theta_{m,int}$	$\theta_{m,e}$	D
dny	°C	°C	K·dny
232	19	4,8	3387

Tab. 13. Roční spotřeba tepla

Výpočet roční potřeby tepla na vytápění $Q_{v,r}$								
θ_{int}	θ_e	e_t	e_i	e_d	η_o	η_r	D	Φ_{HL}
°C	°C	-	-	-	-	-	K·dny	kW
19	-15	0,9	0,85	1	0,95	0,95	3387	15,980
$Q_{v,r}$					$Q_{v,r}$			
GJ/rok					MWh/rok			
113,3972					31,4992			

5.4 Výpočet nákladu na vytápění pro kotel na zemní plyn

Když jsme již vypočítali roční spotřebu tepla, můžeme tuto spotřebu převést na množství spotřebovaného plynu. V domě se topí za pomoci kotle Veismann Vitodens 222. Náklady spočítáme dle vztahu: [46]

$$M = \frac{Q_{v,r}}{Q_v} \cdot \frac{1}{\eta} \quad (23)$$

Q_v [MJ/m³] ... Výhřevnost zemního plynu. Hodnota 33,48. [45]

M [m³/rok] ... množství spotřebovaného plynu

η [%] ... Účinnost kotle. Hodnota 98 %.

$$M = \frac{113397,2}{33,48} \cdot \frac{1}{0,98} = 3456 \text{ m}^3/\text{rok}$$

V dalším kroku musíme zjistit jakou hodnotu účtuje dodavatel plynu při přepočtu z kWh na 1 m³. V našem případě je přepočet 1 m³ = 10,62 kWh. [53] Tuto hodnotu vynásobíme zjištěným M z předchozího výpočtu a dostaneme množství spotřebovaného plynu v jednotkách kWh/rok.

$$M_p = 10,62 \cdot M = 10,62 \cdot 3456 = 36704$$

Pro určení nákladů musíme znát cenu plynu. Ta se odvíjí podle toho, kolik plynu je ročně odebíráno. Tuto hodnotu zjistíme z vyúčtování za plyn v posledním uplynulém období. V našem případě tato cena činí $P_G = 1,07$ Kč/kWh.

Náklady za vytápění jsou tedy $N = M_p \cdot P_G = 36704 \cdot 1,07 = 39273$ Kč.

Hodnota N však neuvažuje DPH, proto musíme výslednou sumu zvětšit o výši DPH v naší zemi. Tato hodnota činí 21 % tzn. $N_r = 39273 \cdot 1,21 = 47520$ Kč.

Výsledná cena za vytápění je 47520 Kč/rok.

6 Návrh opatření

Jako jeden z hlavních cílů této práce je navrhnout konkrétní opatření, které by ušetřili peníze za vytápění domu. V této kapitole navrhujeme určité varianty zateplení. Při provádění jakéhokoli opatření se musíme ohlížet na návratnost investice do zateplení. Je to hodnota, která nám říká za jak dlouho se vrátí investované peníze a také díky tomu určujeme, zda má cenu dané opatření vůbec provádět. Když uvažíme např. zateplení s návratností 100 let, tak nám je jasné, že kvůli průměrnému věku, kterého se člověk dožije a životnosti použitých materiálů toto opatření nemá cenu provádět. Pro zjištění doby návratnosti musíme nejdříve provést výpočet tepelné ztráty objektu, potom co zrealizujeme opatření. To se provede stejným způsobem jako v kapitole 5 pro původní stav. Úspora na vytápění se vypočítá dle vztahu: [4], [47]

$$X_i = N_r - N_{v,i} \quad (24)$$

X_i	[Kč/rok]	...	úspora na vytápění po realizaci tepelně-izolačních opatření
N_r	[Kč/rok]	...	náklady na vytápění před zateplením
$N_{v,i}$	[Kč/rok]	...	náklady na vytápění po zateplení

Návratnost investice se poté vypočítá dle vztahu:

$$Y_i = \frac{P_i}{X_i} \quad (25)$$

Y_i	[rok]	...	doba návratnosti investice
P_i	[Kč]	...	investice do opatření

6.1 1. Varianta zateplení

První variantou je zateplení obvodové zdi materiálem Bachl EPS 70F o tloušťce 60 mm. Pro určení ceny zateplení musíme určit plochu, na kterou se bude izolace pokládat. Díky tomu můžeme určit kolik materiálu bude potřeba. Cena práce na m² je také jednou z důležitých položek a tvoří největší část výdajů. Pokud lze ze zdravotního hlediska a máme zkušenosti se zednickou prací, je možné si zateplit dům sám bez pomoci firmy. Je však třeba zvážit riziko úrazu a kvalitu provedené práce. Pro náš případ bereme cenu práce 300 Kč/m². Ceny materiálů kalkulovány na základě cen z [48], [49], [50], [51], [52].

Tab.14. Varianta 1.

Zateplení EPS 70F 60 mm					
materiál	typ	vydatnost	Obsah balení	množství	cena
					Kč
Polystyren	EPS 70F		3,5 m ²	43	12612
Hmoždinky	Bravoll PTH-X	6ks/m ²	1 ks	1026	5601,96
Perlinka	Vertex R 117		50 m ²	4	2710,35
Zátky	Styrotrade EPS	6ks/m ²	1 ks	1026	2975,4
Lepidlo	Weber 700	5,5kg/m ²	25 kg	38	5404,5
Práce					51149,46
Celková cena					80483,72

Po zateplení klesne tepelná ztráta o 0,56 kW na hodnotu 15,42 kW. Částka za roční spotřebu plynu klesla na 45862,43 Kč/rok

$$X_1 = N_r - N_{v,1} = 47520 - 45862 = 1658$$

$$Y_1 = \frac{P_1}{X_1} = \frac{80483}{1658} = 48,5$$

Návratnost a úspora za rok se pro všechny další opatření počítají stejně.

Úspora varianty číslo jedna je 1658 Kč/rok a návratnost investice 48,5 let.

6.2 2. Varianta zateplení

Druhá varianta je stejná jako varianta první, tudíž zateplení obvodové zdi polystyrenem Bachl EPS 70F, avšak pro druhou variantu použijeme polystyren tloušťky 100mm.

Tab.15. Varianta 2.

Zateplení EPS 70F 100 mm					
materiál	typ	vydatnost	Obsah balení	množství	cena
					Kč
Polystyren	EPS 70F		2,5 m ²	69	21081
Hmoždinky	Bravoll PTH-X	6ks/m ²	1 ks	1026	5601,96
Perlinka	Vertex R 117		50 m ²	4	2710,35
Zátky	Styrotrade EPS	6ks/m ²	1 ks	1026	2975,4
Lepidlo	Weber 700	5,5kg/m ²	25 kg	38	5404,5
Práce					51149,46
Celková cena					88952,72

Po zateplení 100 mm polystyrenem klesne tepelná ztráta na hodnotu 15,205 kW. Ročně ušetříme 2303 Kč a návratnost této investice je 38,6 let.

6.3 3. Varianta zateplení

Třetí varianta je zateplení polystyrenem Bachl EPS 70F tl. 60 mm, avšak nyní zateplujeme pouze stěnu, která je orientovaná na severní stranu. Nevýhoda je ta, že na severní stranu je orientovaná dílna, která je nevytápěná. Zateplovat stěnu dílny, ve které se netopí není ekonomické, ale kvůli estetické stránce je to nutné.

Tab.15. Varianta 3.

Zateplení EPS 70F 60 mm					
materiál	typ	vydatnost	Obsah balení	množství	cena
					Kč
Polystyren	EPS 70F		3,5 m ²	17	4986
Hmoždinky	Bravoll PTH-X	6ks/m ²	1 ks	408	2227,68
Perlinka	Vertex R 117		50 m ²	2	1077,8
Zátky	Styrotrade EPS	6ks/m ²	1 ks	408	1183,2
Lepidlo	Weber 700	5,5kg/m ²	25 kg	15	2143,089
Práce					20294,4
Celková cena					31912,17

Při této variantě zateplení klesne tepelná ztráta jen o 0,154 kW na hodnotu 15,825 kW. Roční platba za vytápění domu je 47062 Kč. Což je ušetření 458,7 Kč/rok a návratnost této investice je 69,5 let.

6.4 4. Varianta zateplení

Tato varianta zateplení spočívá opět v zateplení severní zdi, ale tentokrát materiálem Bachl EPS 70F tl. 100 mm. Z estetických důvodů zateplujeme i část obvodové zdi dílny.

Tab.15. Varianta 4.

Zateplení EPS 70F 100 mm					
materiál	typ	vydatnost	Obsah balení	množství	cena
					Kč
Polystyren	EPS 70F		2,5 m ²	28	8554
Hmoždinky	Bravoll PTH-X	6ks/m ²	1 ks	408	2227,68
Perlinka	Vertex R 117		50 m ²	2	1077,8
Zátky	Styrotrade EPS	6ks/m ²	1 ks	408	1183,2
Lepidlo	Weber 700	5,5kg/m ²	25 kg	15	2143,089
Práce					20294,4
Celková cena					35480,17

Po provedení zateplení se sníží tepelná ztráta o 0,214 kW na hodnotu 15,765 kW. Provedením tohoto opatření jsme snížili cenu za rok o 637,5 Kč na výslednou částku 46883 Kč. Návratnost investice činí 55,6 let.

6.5 5. Varianta zateplení

Poslední varianta opatření spočívá ve snížení teploty v interiéru na hodnoty, které reguluje norma.

Tab.16. Teploty v místnostech

Místnost	označení	Výpočtová teplota
		°C
Chodba	001	20
WC	002	24
Technická místnost	003	20
Sklep I	004	20
Sklep II	005	20
Dílna I	006	18
Úložný prostor	007	20
Zádveří	101	18
Chodba	102	20
Schodiště	103	20
Dílna II	104	10
Šatna	105	20
Pracovna	106	20
Koupelna	107	24
Kuchyň + obývací pokoj	108	20
Špíz	109	20
Zimní zahrada	110	8
Chodba	201	20
Šatna	202	20
Koupelna	203	24
WC	204	24
Pokoj I	205	20
Pokoj II	206	20
Ložnice	207	20

Při provedení tohoto opatření klesne hodnota tepelných ztrát na 15,456 kW. Na výdajích se to projeví úsporou 1556 Kč, výsledná částka tak činí 45964 Kč/rok. Tato investice nemá žádnou návratnost, jelikož nestojí žádné peníze. Je však třeba zvážit komfort obyvatelů domu. Tepelná pohoda je důležitá, znamená, že je dosaženo takových tepelných poměrů, kdy člověku není ani chladno, ani teplo. Je třeba tedy zvážit, zda nám úspora 1556 Kč/rok stojí za snížení tepelné pohody.

7 Zhodnocení tepelně-izolačních opatření

V této kapitole vyhodnotíme výsledky z předchozí kapitoly a určíme, jestli má dané opatření cenu provádět.

Při původním stavu před zateplením, činila celková tepelná ztráta 15,98 kW a roční spotřeba plynu byla ve výši 47520 Kč.

První varianta zateplení spočívala v zateplení obvodové zdi polystyrenem Bachel EPS 70F o tloušťce 60 mm. Tepelná ztráta se snížila o 0,56 kW na hodnotu 15,42 kW a roční úspora činila 1658 Kč. Návratnost je 48,5 let. Kvůli životnosti materiálu se nám tato investice nevyplácí.

Druhá varianta byla stejná jako varianta první, zateplili jsme však polystyrenem o tloušťce 100 mm. Tepelná ztráta klesla o 0,775 kW na hodnotu 15,205 kW a roční úspora činila 2303 Kč. Návratnost této investice je 38,6 let. Tato varianta je ze 4 variant zateplení obvodové zdi nejvýhodnější, avšak i v tomto případě je návratnost vysoká a provádění opatření se nevyplácí.

Třetí varianta byla zateplení pouze jedné strany domu polystyrenem Bachel EPS 70F o tloušťce 60 mm. Jednalo se o stěnu, která byla orientována na severní stranu. Po tomto opatření klesla tepelná ztráta jen o 0,154 kW na hodnotu 15,825 kW. Úspora činí 458,7 Kč/rok a návratnost investice je 69,5 let. Tato varianta má ze všech možností nejdelší návratnost a není výhodná.

Čtvrté opatření spočívá na stejném principu jako varianta třetí. Nyní použijeme polystyren o tloušťce 100 mm. Tepelné ztráty se sníží o 0,214 kW na hodnotu 15,765 kW. To představuje úsporu 637,5 Kč/rok. Návratnost této investice je 55,6 let.

Pátá varianta se týkala snížením teploty v interiéru ze skutečných hodnot na hodnoty, které jsou dané podle normy ČSN EN 12831. Celková tepelná ztráta po provedení tohoto opatření činila 15,456 kW, což je snížení o 0,524 kW. Úspora činí 1556 Kč/rok. Provedení tohoto opatření nás nestojí žádné peníze tudíž o návratnosti nemůžeme mluvit. Je však třeba zvážit, zda jsou nižší teploty stále pohodlné k obývání domu.

Můžeme konstatovat, že kvůli vysoké ceně práce při kalkulování ceny varianty 1-4 není provedení ani jednoho opatření opodstatněné. Kdybychom počítali cenu práce na 200 Kč/m² tak návratnosti investice budou pro nás příznivější. U nejlepší varianty – zateplení obvodových zdí polystyrenem o tloušťce 100 mm, to činí zmenšení doby návratnosti o 8 let. Varianta 3. a 4. je nevýhodná také kvůli tomu, že část zdi, kterou zateplujeme tvoří nevytápěná místnost, kterou zateplujeme převážně z estetického hlediska. Varianta 5 je 3. nejvýhodnější z hlediska eliminace tepelných ztrát. Pouze o 102 Kč/rok nižší úspora než u varianty 1. a nestojí nás žádné peníze, pouze musíme zvážit, zda tato úspora stojí za sníženou tepelnou pohodu obyvatel domu.

V České republice probíhá program Zelená Úsporám, který pokrývá až 50 % investic do zateplení domu a tím pádem snižuje návratnost investice. Naše opatření však nesplňují požadavky, kterých je třeba pro dosažení téhle dotace, tudíž pro náš případ tato dotace není možná.

Tab.17 Zhodnocení opatření

Zhodnocení opatření						
Stav konstrukce	Tepelné ztráty	Tepelná úspora	Náklady za vytápění	Snížení nákladů	Investice	Návratnost
	[kW]	[kW]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč]	[Roky]
Původní stav	15,98	-	47520	-	-	-
1.Varianta	15,42	0,56	45862	1658	80484	48,5
2.Varianta	15,205	0,775	45217	2303	88953	38,6
3.Varianta	15,825	0,154	47061	459	31912	69,5
4.Varianta	15,765	0,214	46882	638	35480	55,6
5.Varianta	15,456	0,524	45964	1556	-	-

ZÁVĚR

Hlavní cíl této bakalářské práce byl navrhnout opatření, které vedou ke snížení tepelné ztráty rodinného domu. Tyto opatření dále vyhodnotit z ekonomického hlediska a určit jejich opodstatnění.

V první části byla provedena rešerše na způsoby, jakými můžeme zateplovat a na materiály, které se při aplikaci tepelně-izolačních opatření používají. Dále byla zmíněna norma ČSN EN 12 831, podle které jsme postupovali v praktické části. V další kapitole byl popsán dům, na kterém jsme demonstrovali postup při zjišťování hodnoty tepelných ztrát.

Tepelné ztráty jsou součet tepelné ztráty prostupem, tepelné ztráty větrání a tepelného návrhového výkonu. V našem případě součet těchto třech hodnot nám dal celkovou tepelnou ztrátu o hodnotě 15,980 kW. Poté byla vypočítána roční spotřeba tepla za vytápění, postupovali jsme tak, že jsme nejdříve určili hodnotu denostupně a poté dosadili do vzorce, ze kterého nám vyšla hodnota 113,3972 GJ/rok. Na základě tohoto jsme mohli určit roční náklady za teplo, které činí 47520 Kč/rok.

V další části práce jsme navrhli několik opatření na snížení těchto nákladů. První varianta opatření byla zateplení obvodové zdi materiálem Bachl EPS 70F o tloušťce 60 mm. Po provedení tohoto opatření klesla tepelná ztráta o 0,56 kW na 15,42 kW. Úspora činila 1658 Kč/rok, což znamená návratnost investice za 48,5 let. Druhé opatření spočívalo v zateplení obvodové zdi materiálem Bachl EPS 70F o tloušťce 100 mm. Tepelná ztráta klesla na hodnotu 15,205 kW. Ročně bylo ušetřeno 2303 Kč a návratnost této investice je 38,6 let. Třetí opatření bylo zateplení pouze zdi, která je orientovaná na severní stranu. Materiál, který byl použit je Bachl EPS 70F, tloušťka 60 mm. Při této variantě zateplení klesla tepelná ztráta jen o 0,154 kW na hodnotu 15,825 kW. Roční platba za vytápění domu byla 47062 Kč. Což je úspora 458,7 Kč/rok a návratnost této investice je 69,5 let. Čtvrté opatření bylo stejné jako opatření třetí, jen byl použit materiál o tloušťce 100 mm. Po provedení zateplení se snížila tepelná ztráta o 0,214 kW na hodnotu 15,765 kW. Provedením tohoto opatření jsme snížili cenu za rok o 637,5 Kč na výslednou částku 46883 Kč. Návratnost investice činí 55,6 let. Páté opatření spočívá ve snížení teploty ze skutečných hodnot na hodnoty normované. Po provedení tohoto opatření klesne hodnota tepelných ztrát na 15,456 kW. Na výdajích se to projeví úsporou 1556 Kč, výsledná částka tak činila 45964 Kč/rok. U posledního opatření nemůžeme mluvit o návratnosti investice jako takové, jelikož jsme neinvestovali žádné peníze. Je však třeba si uvědomit, zda tento zásah do teploty v interiéru nenarušuje naši tepelnou pohodu.

V poslední kapitole proběhlo zhodnocení navržených opatření. Ani u jednoho ze čtyř opatření zateplení nemůžeme uplatnit dotace z programu Zelená Úsporám, které by nám pomohli snížit náklady a návratnost investice. Nejmenší návratnost má varianta číslo dvě. Avšak návratnost 38,6 let, pořád není dost malá na to, aby se vyplatilo toto opatření zrealizovat. Jeden z důvodů pro vysokou návratnost je vysoká cena práce, s kterou jsme v této práci kalkulovali. Kdyby byla cena práce nižší, návratnost by se rapidně snížila. U posledního opatření je třeba zvážit, jestli nám snížení komfortu stojí za úsporu 1556 Kč/rok.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ELCNER, Jakub. *Porovnání výpočtu tepelných ztrát dle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831* [online]. Brno, 2008 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3342/Diplomova_prace_Elcner.PDF?sequence=-1. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] Tepelný odpor R. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r#odporRT>
- [3] Součinitel prostupu tepla. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [4] ŽÁK, Tomáš. *Návratnost investic do snížení tepelných ztrát rodinného domu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/67413/2017_BP_Zak_Tomas_170843.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] PERLÍK, Martin. *Vnitřní zateplení obvodových stěn* [online]. 17.12.2014 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.perlikprojekce.cz/2014/12/vnitri-zatepleni-obvodovych-sten/>
- [6] Zateplovací systémy ETICS. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/303-zateplovaci-systemy-etics>
- [7] Pod povrch kontaktních a provětrávaných fasád. *TZB-info* [online]. 16.11.2015 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/13451-pod-povrch-kontaktnich-a-provetravanych-fasad>
- [8] *Tepelné izolace – přehled, materiály, druhy, způsoby použití* [online]. 24.2.2009 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelne-izolace-prehled-materialy-druhy-zpusoby-po/>
- [9] Tepelně izolační vlastnosti izolačních materiálů a jejich porovnání. *Izolant* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.izolant.cz/tepelneizolacni-vlastnosti-izolacnich-materialu-a-jejich-porovnani/>
- [10] ŠUBRT, Roman. Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích. *TZB-info* [online]. 4.12.2012 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/2526-tepelne-mosty-ve-stavebni-konstrukcich>
- [11] PERLÍK, Martin. Kdy se vyplatí nadkroevní tepelná izolace?. *Perlikprojekce* [online]. 9.3.2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.perlikprojekce.cz/2017/03/se-vyplati-nadkroevni-tepelna-izolace/>
- [12] NEŠPOROVÁ, Kristina. Nadkroevní izolace: Větší obytnou plochu v podkroví chce každý. *Drevostavitel* [online]. 30.3.2018 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/nadkroevni-izolace>
- [13] Jak zateplit střechu mezi a pod krokviemi?. *TZB-info* [online]. 12.7.2001 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/7647-jak-zateplit-strechu-mezi-a-pod-krokvemi>

- [14] Zateplení dřevostavby pomocí PIR/PUR panelů PAMatherm, UNILIN. *Podkrokevne* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.podkrokevne.cz/pir-panely/10-systemy-zatepleni>
- [15] Zateplení mezi krokvy (Mezikrokevní izolace). *Vseostrese* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.vseostrese.cz/zatepleni-mezi-krokvemi-mezikrokevni-izolace/t1187>
- [16] Druhy oken a jejich výhody. *Vlastnimarukama* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.vlastnimarukama.cz/druhy-oken-a-jejich-vyhody/>
- [17] *Plastová okna - Popis oken* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.marolux.cz/typy-rozdeleni-oken/>
- [18] ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETRTYL. Plastová okna. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/236-plastova-okna>
- [19] ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETRTYL. Dřevěná okna. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/237-drevena-okna>
- [20] ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETRTYL. Hliníková okna. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/238-hlinikova-okna>
- [21] ŠUBRT, Roman. Únik tepla okny v otázkách a odpovědích. *Izolace-info* [online]. 21.8.2012 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/aktuality/?nid=8794-unik-tepla-okny-v-otazkach-a-odpovedich.html#.WwLjzTisbIV>
- [22] *Termoizolační fólie na okna šetří peníze a zlepšuje pohodu domova* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.ceskykutil.cz/termoizolacni-folie-na-okna-setri-penize-a-zlepsuje-pohodu-domova>
- [23] *Jak si zateplit okna* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.kouzelnebydleni.cz/jak-si-zateplit-okna/>
- [24] BOUKHEMISOVÁ, Magdalena. Jak zateplit podlahu nad sklepem?. *Izolant* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.isolant.cz/jak-zateplit-podlahu-nad-sklepem/>
- [25] LESCHINGEROVÁ, Marie. *Zateplení podlahy: Jak na to?* [online]. 12.3.2012 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/zatepleni-podlahy-jak-na-to.aspx>
- [26] Tepelné mosty a jak vznikají?. *Tepelna-izolace* [online]. 16.2.2014 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/tepelne-mosty-a-jak-vznikaji.html>
- [27] Pod povrch kontaktních a provětrávaných fasád. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0134/013451o1.jpg>
- [28] Pod povrch kontaktních a provětrávaných fasád. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0134/013451o9.jpg>
- [29] STYROTRADE fasádní polystyren EPS 70 F. In: *Serios* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.serios.cz/files/products/images/thumb/2181.jpg>

- [30] Extrudovaný polystyren (XPS) - technické parametry. In: *Izolace-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://data.krytinystrechy.cz/100183/www/www.izolace-info.cz/downloads2/extrudovany_polystyren.jpg
- [31] Molytanová deska PUR. In: *Propur* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.propur.cz/files/molitanova-deska-PUR-pena-polyuretan-RP30048.jpg>
- [32] Pěnové sklo. In: *Wikipedi* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Foamglas.JPG>
- [33] Vakuová izolace. In: *Drevostavitel* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/galerie/clanky/261/izolacni-materialy-5-dil--vakuova-izolace-foto.jp>
- [34] Minerální vata KNAUF. In: *Buildex* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.buildex.cz/obrazky/produkty/detail/fasadni-mineralni-vata-knauf-nobasil-mpe.jpg>
- [35] Nadkrokevní zateplení. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0111/011182o3.jpg>
- [36] Mezi a podkrokevní izolace. In: *Ceskestavby* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://i.ceskestavby.cz/clanky/odstavce/23127-554388-1_Rockwool_mezi-podkrokevni-izolace.jpg
- [37] Plastová okna. In: *Sulko* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://www.sulko.cz/pcs/pcs_plastova-okna/sulko-classic-line-section.png
- [38] Dřevené okno. In: *VEKRA* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/DRV_OKNO_IV-68-ZAKLAD-e1446715483849-413x590.jpg
- [39] Hliníkové okno. In: *VEKRA* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/vekra_hlinik_STANDARD2-e1447244075520-413x590.jpg
- [40] Co jsou to tepelné mosty?. In: *Drevostavby-kaspar* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.drevostavby-kaspar.cz/images/tepelne-mosty2.jpg>
- [41] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [42] ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách - výpočet tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [43] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu>
- [44] ČSN EN 73 0540 – 3. Tepelná ochrana budov. Praha: Český normalizační úřad, 2005

- [45] Výhřevnosti paliv. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [46] Porovnání nákladů na vytápění. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>
- [47] MURTINGER, Karel. Ekonomika zateplení. *Izolace-info* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/aktuality/?nid=10324-ekonomika-zateplovani.html#.WwMTazisbIU>
- [48] *E-zatepleni* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.e-zatepleni.cz/81-6-0/fasadni-polystyren.php>
- [49] *Levnestavebniny* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.levnestavebniny.cz/styrotrade-polystyrenova-zatka-eps-.7791/>
- [50] *Levnestavebniny* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.levnestavebniny.cz/talirova-hmozdinka-bravoll-ptx-x-.3049/>
- [51] *Levnestavebniny* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.levnestavebniny.cz/perlinka-vertex-r-117-.3041/>
- [52] *Zatepleni-fasad* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-fasad.eu/weber-tmel-700-sterkovy-tmel-25-kg/>
- [53] *Orientační přepočet m³ na kWh* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.innogy.cz/stavajici-zakaznici/prepocet-na-kwh/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Název veličiny
A_i	$[m^2]$	Podlahová plocha
A_k	$[m^2]$	Plocha místnosti
A_g	$[m^2]$	Plocha podlahové konstrukce
B'	$[m]$	Charakteristický parametr
b_u	$[-]$	Teplovní redukční činitel
d	$[dn]$	Počet dnů, kdy je dům vytápěn
D	$[K \cdot dn]$	Vytápěcí denostupně
e_d	$[-]$	Korekční činitel zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami provozu
e_i	$[-]$	Korekční činitel nesoučastnosti tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem
e_k	$[-]$	Korekční činitel povětrnostních vlivů
e_t	$[-]$	Korekční činitel snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci
f_{g1}	$[-]$	Korekční činitel zohledňující vliv ročních změn
f_{g2}	$[-]$	Korekční činitel zohledňující rozdíl mezi roční
f_{ij}	$[-]$	Redukční teplovní součinitel korigující teplovní rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní
f_{RH}	$[-]$	Zátopový součinitel
G_w	$[-]$	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody
$H_{T,ie}$	$[W/K]$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obálku domu
$H_{T,ig}$	$[W/K]$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do zeminy
$H_{T,ij}$	$[W/K]$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s velmi odlišnou teplotou
$H_{T,iue}$	$[W/K]$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního prostředí skrz nevytápěný prostor
$H_{V,i}$	$[W/K]$	Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním
M	$[m^3]$	Množství spotřebovaného plynu
M_p	$[kWh/rok]$	Spotřeba plynu účtovaná dodavatelem
N_r	$[Kč/rok]$	Náklady na vytápění před realizací zateplení
$N_{v,i}$	$[Kč/rok]$	Náklady na vytápění po realizaci zateplení
n_{50}	$[h^{-1}]$	Součinitel intenzity výměny vzduchu pro celou budovu
n_{min}	$[h^{-1}]$	Součinitel intenzity minimální výměny vzduchu
P	$[m]$	Obvod dané podlahové konstrukce
P_G	$[Kč/kWh]$	Cena plynu
P_i	$[Kč]$	Celková cena investice
R	$[m^2 \cdot K/W]$	Tepelný odpor
R_{se}	$[m^2 \cdot K/W]$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně
R_{si}	$[m^2 \cdot K/W]$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně
t	$[m]$	Tloušťka zdi
Q_v	$[MJ/m^3]$	Výhřevnost plynu

$Q_{V,r}$	[MJ/m ³]	Roční spotřeba tepla na vytápění domu
$U_{equiv,k}$	[W/m ² ·K]	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí
U_k	[W/m ² ·K]	Součinitel prostupu tepla
V_i	[m ³]	Objem místnosti
$\dot{V}$	[m ³ /h]	Průtok vzduchu
$V_{inf,i}$	[m ³ /h]	Množství vzduchu vyměněné infiltrací ve vytápěném prostoru
$V_{min,i}$	[m ³ /h]	Minimální výměna vzduchu nutná z hygienických důvodů
X_i	[Kč/rok]	Roční úspora na vytápění po realizaci zateplení
Y_i	[rok]	Doba návratnosti investice
ε_i	[-]	Výškový korekční součinitel
η	[%]	Účinnost kotle
η_o	[%]	Účinnost obsluhy, možnosti regulace soustavy
η_r	[%]	Účinnost rozvodu vytápění
θ_e	[°C]	Výpočtová venkovní teplota
θ_{es}	[°C]	Průměrná venkovní teplota
$\theta_{int,i}$	[°C]	Výpočtová teplota vytápěné místnosti
$\theta_{m,e}$	[°C]	Průměrná roční teplota pro danou oblast
$\theta_{m,int}$	[°C]	Průměrná vnitřní teplota
θ_u	[°C]	Teplota nevytápěné místnosti
$\theta_{vytap.sous.prost}$	[°C]	Teplota sousedního vytápěného prostoru
λ	[W/m·K]	Součinitel tepelné vodivosti
Φ_{HL}	[W]	Celkový návrhový tepelný výkon
Φ_{RH}	[W]	Návrhový tepelný zátopový výkon
Φ_T	[W]	Návrhová tepelná ztráta prostupem
Φ_V	[W]	Návrhová tepelná ztráta větráním

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Výpočet U_k pro jednotlivé obálky
Příloha B	Výpočet tepelné ztráty

Příloha A

Stěna - SKLEP					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,13	
1	Beton	0,3	1,23	0,243902	
7	Extrudovaný Polystyren	0,1	0,034	2,941176	
4	Omítka	0,01	0,88	0,001136	
		Odpor při prostupu tepla		0,04	
Celkové hodnoty		0,41		3,366443	0,29705

Vnitřní stěna I					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,13	
9	Ytong 100	0,1	0,13	0,769231	
4	Omítka	0,01	0,88	0,001136	
		Odpor při prostupu tepla		0,04	
Celkové hodnoty		0,11		0,950594	1,05197

Vnitřní stěna II					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,13	
10	Ytong 150	0,15	0,13	1,153846	
4	Omítka	0,01	0,88	0,001136	
		Odpor při prostupu tepla		0,04	
Celkové hodnoty		0,16		1,33521	0,74895

Vnitřní stěna III					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,13	
11	Ytong 200	0,2	0,13	1,538462	
4	Omítka	0,01	0,88	0,011364	
		Odpor při prostupu tepla		0,04	
Celkové hodnoty		0,21		1,719825	0,58145

Vnitřní stěna IV					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,13	
12	Ytong 300	0,3	0,13	2,307692	
4	Omítka	0,01	0,88	0,011364	
		Odpor při prostupu tepla		0,04	
Celkové hodnoty		0,31		2,489056	0,40176

Podlaha zimní zahrady					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,17	
3	Ytong	0,5	0,13	3,846153	
13	Porotherm	0,3	0,13	2,307692	
		Odpor při prostupu tepla		0,17	
Celkové hodnoty		0,8		6,323846	0,15399

Podlaha mezi patry					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,17	
1	Beton	0,1	1,23	0,081301	
6	Polystyren	0,05	0,039	1,282051	
2	Litá podlaha	0,05	1	0,05	
		Odpor při prostupu tepla		0,17	
Celkové hodnoty		0,2		1,753352	0,57033

Základová podlaha					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,17	
1	Beton	0,2	1,23	0,162602	
6	Polystyren	0,1	0,039	2,564103	
2	Litá podlaha	0,05	1	0,05	
		Odpor při prostupu tepla		0	
Celkové hodnoty		0,35		2,946704	0,33936

Střecha					
Materiál	Popis	d_i	λ	R	U_k
		Odpor při prostupu tepla		0,1	
8	Minerální vata	0,24	0,038	6,315789	
5	Sádrokarton	0,0125	0,22	0,056818	
		Odpor při prostupu tepla		0,1	
Celkové hodnoty		0,2525		6,572608	0,152147

Hodnoty U_k pro jednotlivé stavební konstrukce	
Okno	1,8
Vnitřní stěna III	0,581454449
Vnitřní stěna II	0,748945976
Vnitřní stěna I	1,05197337
Střecha	0,152146614
Základová podlaha	0,339362194
Podlaha mezi patry	0,570336102
Stěna ve sklepě	0,297049478
Obvodová stěna	0,278516268
Vnitřní stěna IV	0,401758748
Podlaha zimní zahrady	0,153991945

Příloha B

Součinitele tepelné ztráty do prostoru vytápěného na nižší teplotu $H_{T,ij}$						
Místnost	A_k		U_k		f_{ij}	$H_{T,ij}$
	[m ²]		[W/(m ² · K)]		[-]	[W/K]
	Stěna	dveře	Stěna	Dveře		
001	1,06	1,76	1,051973	1,9	-0,05405	-0,24103199
	6,36	1,76	0,581454	1,9	0,108108	0,761302735
002	5,035		1,051973		0,051282	0,271624919
005	4,77		0,581454		0,108108	0,299841916
006	8,48	1,76	0,297049	1,9	-0,12121	-0,71066419
101	3,445	1,76	1,051973	1,9	-0,12121	-0,84461191
102	2,915	1,76	0,581454	1,9	-0,05405	-0,27237512
107	5,3		0,581454		0,051282	0,158036338
	5,035		1,051973		0,051282	0,271624919
203	7,155	1,76	0,754727	1,9	0,051282	0,44841391
	6,625		0,754727		0,051282	0,25641364
204	1,59	1,76	0,754727	1,9	0,051282	0,233026453
	6,89		0,754727		0,051282	0,266670185

Součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ pro jednotlivé pokoje								
Místnost	A_k			U_k			e_k	$H_{T,ie}$
	[m ²]			[W/(m ² · K)]			[-]	[W/K]
	obvodová stěna	okno	střecha	obvodová stěna	okno	střecha		
001	4,505			0,297049			1	1,33820
002	8,48			0,297049			1	2,51898
003	17,885	0,4		0,297049	1,8		1	6,03273
004	5,96	0,4		0,297049	1,8		1	2,49041
005	5,165	0,4		0,297049	1,8		1	2,25426
006	26,5	2,4		0,297049	1,8		1	12,1918
007	34,45			0,278516			1	9,59488
101	1,06			0,278516			1	0,29522
103	12,28		11,88	0,278516		0,15215	1	5,22768
105	5,065	0,5		0,278516	1,8		1	2,31068
106	18,71	1,96		0,278516	1,8		1	8,73903
107	4,9	0,4		0,278516	1,8		1	2,0847
108	34,4295	14,06		0,278516	1,8		1	34,9070
109	3,84	0,4		0,278516	1,8		1	1,78950
202	3,01		10,052	0,278516		0,15215	1	2,36771
203	1,41	1,6	11,41	0,278516	1,8	0,15215	1	5,00870
204	0,518	0,6	3,9	0,278516	1,8	0,15215	1	1,81764
205	15,594	2	33,12	0,278516	1,8	0,15215	1	12,9822
206	16,394	1,2	33,12	0,278516	1,8	0,15215	1	11,7650
207	23,007	2	33,36	0,278516	1,8	0,15215	1	15,0834

Součinitel tepelné ztráty přes nevytápěné místnosti pro jednotlivé místnosti $H_{T,iue}$						
Místnost	A_k		U_k		b_u	$H_{T,iue}$
	[m ²]		[W/(m ² · K)]		[-]	[W/K]
	Stěna	střecha	Stěna	střecha		
101	9,275		0,401759		0,2424	0,903258123
105	7,95		0,401759		0,2424	0,774221248
007		21		0,153992	0,3783	1,223358209
106	8,55		0,278516		0,3783	0,90085112
103	6,27		0,278516		0,3783	0,660624155

..

Součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig}$								
Místnost	A_g	P	B'	$U_{equiv,k}$	f_{g1}	f_{g2}	G_w	$H_{T,ig}$
	[m ²]	[m]	[m]	[W/(m ² · K)]	[-]	[-]	[-]	[W/K]
001	14,72	15,6	1,8872	0,14	1,45	0,46486	1	1,3890906
002	2,8	6,8	0,8235	0,14	1,45	0,49231	1	0,2798277
003	7,8	11,8	1,322	0,14	1,45	0,46486	1	0,736067
004	4,14	8,2	1,0098	0,14	1,45	0,49231	1	0,4137452
005	3,96	8	0,99	0,14	1,45	0,46486	1	0,3736956
006	17,16	17	2,0188	0,16	1,45	0,4	1	1,592448
007	16,5	17	1,9412	0,16	1,45	0,46486	1	1,7795027

Celková tepelná ztráta prostupem			
Místnost	$H_{T,i}$	$\theta_{int,i}-\theta_e$	$\Phi_{T,i}$
	[W/K]	[°C]	[W]
001	3,2476	37	120,1600618
002	3,0704	39	119,7468551
003	6,7688	37	250,4454866
004	2,9042	37	107,4539244
005	2,9278	37	108,3285273
006	13,074	33	431,428634
007	12,598	37	466,1166146
101	0,3539	33	11,67782408
102	-0,272	37	-10,0778794
103	5,8883	37	217,8673109
105	3,0849	37	114,1415274
106	9,6399	37	356,6759482
107	2,5144	39	98,06124779
108	34,907	37	1291,561806
109	1,7895	37	66,21159134
202	2,3677	37	87,60533402
203	5,7135	39	222,8276058
204	2,3173	39	90,37625452
205	12,982	37	480,3443059
206	11,765	37	435,3083874
207	15,083	37	558,0870883
Součet			5624,35

Množství vzduchu při infiltraci obvodovým pláštěm $V_{inf,i}$					
Místnost	V_i	n_{50}	e_i	ε_i	$V_{inf,i}$
	[m ³]	[h ⁻¹]	[-]	[-]	[m ³ /h]
001	39,008	6	0	1	0
002	20,67	6	0	1	0
003	10,971	6	0,02	1	2,63304
004	7,42	6	0,02	1	1,7808
005	10,494	6	0,02	1	2,51856
006	45,474	6	0,03	1	16,37064
007	48,098	6	0	1	0
101	11,136	6	0,02	1	2,67264
102	25,52	6	0	1	0
103	36,63	6	0	1	0
104	53,766	6	0,02	1	12,90384
105	14,79	6	0,02	1	3,5496
106	41,76	6	0,02	1	10,0224
107	11,02	6	0,02	1	2,6448
108	124,93	6	0,03	1	44,97552
109	8,816	6	0,02	1	2,11584
110	53,55	6	0,03	1	19,278
201	30,608	6	0	1	0
202	9	6	0	1	0
203	25,375	6	0,03	1	9,135
204	8,671	6	0,02	1	2,08104
205	68,476	6	0,02	1	16,43424
206	35,305	6	0,02	1	8,4732
207	38,43	6	0,03	1	13,8348

Hygienické množství vzduchu $V_{min,i}$			
Místnost	V_i	n_{min}	$V_{min,i}$
	[m ³]	[h ⁻¹]	[m ³ /h]
001	39,008	0,5	19,504
002	20,67	1,5	31,005
003	10,971	0,5	5,4855
004	7,42	0,5	3,71
005	10,494	0,5	5,247
006	45,474	0,5	22,737
007	48,0975	0,5	24,04875
101	11,136	0,5	5,568
102	25,52	0,5	12,76
103	36,63	0,5	18,315
104	53,766	0,5	26,883
105	14,79	0,5	7,395
106	41,76	0,5	20,88
107	11,02	1,5	16,53
108	124,932	1,5	187,398
109	8,816	0,5	4,408
110	53,55	0,5	26,775
201	30,6075	0,5	15,30375
202	9	0,5	4,5
203	25,375	1,5	38,0625
204	8,671	0,5	4,3355
205	68,476	0,5	34,238
206	35,305	0,5	17,6525
207	38,43	0,5	19,215

Součinitel tepelné ztráty větráním $H_{v,i}$		
Místnost	$\dot{V}_l$	$H_{v,i}$
	[m ³ /h]	[W/K]
001	19,504	6,63136
002	31,005	10,5417
003	5,4855	1,86507
004	3,71	1,2614
005	5,247	1,78398
006	22,737	7,73058
007	24,049	8,176575
101	5,568	1,89312
102	12,76	4,3384
103	18,315	6,2271
104	26,883	9,14022
105	7,395	2,5143
106	20,88	7,0992
107	16,53	5,6202
108	187,4	63,71532
109	4,408	1,49872
110	26,775	9,1035
201	15,304	5,203275
202	4,5	1,53
203	38,063	12,94125
204	4,3355	1,47407
205	34,238	11,64092
206	17,653	6,00185
207	19,215	6,5331

Tepelná ztráta větráním			
Místnost	$\theta_{int,i}-\theta_e$	$H_{v,i}$	$\Phi_{v,i}$
	[°C]	[W/K]	[W]
001	37	6,63136	245,3603
002	39	10,5417	411,1263
003	37	1,86507	69,00759
004	37	1,2614	46,6718
005	37	1,78398	66,00726
006	33	7,73058	255,1091
007	37	8,176575	302,5333
101	33	1,89312	62,47296
102	37	4,3384	160,5208
103	37	6,2271	230,4027
104	25	9,14022	228,5055
105	37	2,5143	93,0291
106	37	7,0992	262,6704
107	39	5,6202	219,1878
108	37	63,71532	2357,467
109	37	1,49872	55,45264
110	23	9,1035	209,3805
201	37	5,203275	192,5212
202	37	1,53	56,61
203	39	12,94125	504,7088
204	39	1,47407	57,48873
205	37	11,64092	430,714
206	37	6,00185	222,0685
207	37	6,5331	241,7247
Součet		194,4652	6981