



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

POROVNÁNÍ IZOLAČNÍCH VLASTNOSTÍ RODINNÉHO DOMU

COMPARISON OF THE INSULATING PROPERTIES OF A FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Dobeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Marek Dobeš**
Studijní program: Energetika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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

Porovnání izolačních vlastností rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Z důvodu významných nárůstů cen energií, začíná celá řada majitelů rodinných domů hledat způsoby, jak na nákladech za tyto energie ušetřit. Jedním ze způsobů je i možné zateplení domu. Práce se bude zabývat porovnáním tepelných ztrát nezatepleného rodinného domu s jeho zateplenou variantou.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracovat rešerši izolačních materiálů pro rodinné domy.
- 2) Výpočet tepelných ztrát vybraného rodinného domu pro nezateplenou a zateplenou a variantu.
- 3) Ekonomické porovnání vypočtených variant zateplení.

Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. 2008. Vytápění. ISBN 9788080760694

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006

ČSN EN 12831-3: Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. 12/2018. Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L.S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání izolačních vlastností rodinného domu s cílem vyhodnotit jednotlivé typy tepelných izolací. V rešeršní části jsou popsány různé druhy tepelných izolací budov a jejich tepelně-izolační vlastnosti. Zároveň jsou zde popsány jednotlivé druhy oken z hlediska tepelně-izolačních vlastností a jejich vlivu na celkovou energetickou bilanci objektů. Praktická část spočívá v porovnání nezatepleného domu a vybraných variant zateplení za pomoci výpočtů tepelných ztrát. Dále se práce zabývá ekonomickým zhodnocením vypočtených variant a jejich návratnost.

Klíčová slova

Izolace, zateplení, návratnost, rodinný dům, prostup tepla, návrhová tepelná ztráta

ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on the comparison of insulation properties of a family house to evaluate different types of thermal insulation. In the research part, different types of thermal insulation of buildings and their thermal insulation properties are described. It also describes the different types of windows in terms of their thermal insulation properties and their influence on the overall energy balance of the buildings. The practical part consists in the comparison of an uninsulated house and selected insulation options using heat loss calculations. Furthermore, the work deals with the economic evaluation of the calculated variants and their payback.

Key words

Insulation, thermal insulation, return on investment, family house, heat transfer, design heat loss

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOBEŠ, Marek. *Porovnání izolačních vlastností rodinného domu*. Online, bakalářská práce. Ing. Filip TOMAN, Ph.D. (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165306>. [cit. 2025-05-08].

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Porovnání izolačních vlastností rodinného domu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Marek Dobeš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Filipu Tomanovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Tepelná izolace.....	12
1.1 Součinitel prostupu tepla.....	12
1.2 Tepelný odpor materiálu.....	12
2 Druhy izolačních materiálů.....	14
2.1 Pěnové izolační materiály.....	14
2.1.1 Polystyren.....	14
2.1.2 Pěnový polystyren EPS.....	14
2.1.3 Grafitový polystyren (šedý).....	15
2.1.4 Pěnové sklo.....	15
2.1.5 Extrudovaný polystyren XPS.....	16
2.1.6 Pěnový polyuretan PUR.....	16
2.2 Vláknité izolační materiály.....	17
2.2.1 Minerální vlna.....	17
2.2.2 Skelná vata.....	17
2.2.3 Celulózová vlákna.....	18
2.3 Vakuová izolace.....	18
2.4 Okna.....	19
2.4.1 Dřevěná okna.....	19
2.4.2 Plastová okna.....	20
2.4.3 Hliníková okna.....	20
3 Výpočet tepelných ztrát rodinného domu.....	21
3.1 Informace o domě.....	21
3.1.1 Umístění domu a klimatické podmínky.....	21
3.1.2 Plán domu a rozmístění místností.....	21
3.1.3 Skladby stěn, stropů a podlah.....	23
3.1.4 Zdroj vytápění.....	23
3.2 Výpočet tepelných ztrát pro nezateplený dům.....	23
3.2.1 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor.....	23
3.2.2 Návrhové tepelné ztráty vstupem vytápěného prostoru.....	24
3.2.3 Návrhová tepelná ztráta větráním.....	26
3.2.4 Celková návrhová tepelná ztráta nezatepleného domu.....	28
3.3 Výpočet tepelných ztrát pro zateplený dům.....	28
3.3.1 Zateplení vnější stěny budovy EPS polystyrenem 200 mm.....	28
3.3.2 Zateplení podlahy půdy za pomoci Isover StepCross.....	29
3.3.3 Zateplení podlahy EPS polystyrenem 150 mm.....	30
3.3.4 Výměna starých oken za okna s lepšími izolačními vlastnostmi.....	30
3.3.5 Zateplení domu všemi variantami.....	31
3.4 Potřeba tepla na vytápění.....	32
3.5 Spotřeba elektrické energie na vytápění.....	33
4 Ekonomické porovnání navrhovaných zateplení.....	35

4.1	Rozpočet na zateplení vnějších stěn budovy	35
4.2	Rozpočet na zateplení podlahy půdy	35
4.3	Rozpočet na zateplení podlahy	36
4.4	Investice do výměny oken	37
4.5	Rozpočet na zateplení všemi variantami	38
4.6	Výsledný graf návratnosti investic	38
	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	41
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	43
	SEZNAM OBRÁZKŮ	45
	SEZNAM TABULEK.....	46
	SEZNAM PŘÍLOH	47

ÚVOD

V současné době, kdy se stále více klade důraz na energetickou náročnost a úsporu nákladů na vytápění, hraje tepelná izolace důležitou roli při stavbě nejen novostaveb, ale i rekonstrukcí rodinných domů. Volba kvalitního izolačního materiálu snižuje tepelnou ztrátu a náklady na vytápění, zároveň zvyšuje komfort vnitřního prostředí. Důležitost energetických úspor se promítá i do legislativních požadavků, které popisují zpracování průkazu energetické náročnosti budov (PENB), který hodnotí efektivitu využívání energie daného objektu. Vzhledem k široké nabídce izolačních materiálů na trhu je důležité porozumět jejich vlastnostem a vhodnosti použití v konkrétních stavebních podmínkách.

Tato práce se věnuje porovnání různých druhů tepelných izolací, které se využívají při výstavbě nebo rekonstrukci rodinných domů. V teoretické části jsou popsány nejběžněji používané izolační materiály, jejich fyzikální vlastnosti, výhody a nevýhody. Praktická část se zaměřuje na konkrétní rodinný dům, pro který jsou zpracovány různé varianty zateplení jednotlivých konstrukcí. U každé varianty je spočten součinitel prostupu tepla, součinitel tepelné ztráty a návrhová tepelná ztráta prostupem a větráním. Dále je vypočtena potřeba tepla na vytápění a poté spotřeba elektrické energie. V závěru práce je provedeno ekonomické zhodnocení a porovnání návratnosti investic do jednotlivých izolačních řešení.

1 Tepelná izolace

Tepelné izolace jsou materiály, které zabraňují úniku a přenosu tepla z budov přes stěny do okolí. K zateplení domů se používá hned několik izolačních materiálů např. polystyreny, minerální vaty, foukané izolace atd. Důvodem, proč se zateplují rodinné domy, je snížit ztrátu tepla a tím ušetřit na vytápění.

1.1 Součinitel prostupu tepla

Hlavní charakteristikou tepelně izolačních vlastností je součinitel prostupu, který udává, kolik tepla projde daným materiálem plochou 1 m^2 , při rozdílu teploty 1 Kelvinu za jednotku času. Přenos tepla se očekává pouze z jednoho směru, a to z teplejší strany na chladnější. Součinitel prostupu tepla závisí na odporu materiálu stěn a izolačních materiálech, ze kterých je stěna postavena. Součinitel prostupu tepla můžeme vypočítat pomocí tepelného odporu R_T podle vztahu: [1]

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

kde je:

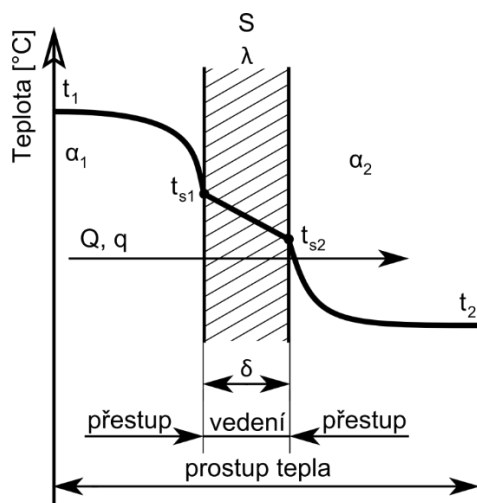
U ... součinitel prostupu tepla,

R_T ... tepelný odpor materiálu při přestupu tepla.

1.2 Tepelný odpor materiálu

Z rovnice můžeme odvodit, že součinitel prostupu tepla je jen převrácenou hodnotou odporu stěny, který se skládá z jednotlivých odporů materiálů, tloušťky vrstev a součinitele tepelné vodivosti. Při výpočtech v této práci se počítá pouze s tloušťkou stěn a součinitelem tepelné vodivosti.

$$R_T = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\lambda}{\delta} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2)$$



Obr. 1 Schéma prostupu tepla stěnou

Tab. 1 Přehled izolačních materiálů [2].

Skupina materiálů	Materiál	Hustota [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m·K ¹]
Pěnoplastické	Pěnové polystyreny	30	0,037 – 0,039
	Extrudované polystyreny	30	0,03 – 0,04
	Pěnové polyuretany	35	0,027
	Pěnové polyetyleny	25	0,026
	Pěněné pryskyřice	40	0,040
Vláknité materiály	Skleněná vlákna	50	0,038
	Minerální vlákna	75	0,037
	Syntetická vlákna	160	0,065
Pěněné silikáty	Pěnové sklo	120	0,04 – 0,048
Minerální materiály	Expandovaný perlit	75	0,060
	Expandovaný vermikulit	100	0,065
Materiály na bázi dřeva a přírodních vláken	Piliny a mineralizované hobliny	140	0,060
	Dřevovláknité a dřevotřískové desky	400	0,092

2 Druhy izolačních materiálů

Existuje několik druhů tepelných izolací od přírodních materiálů po syntetické. V historii se používaly různé přírodní materiály, např. dubové listí, různé směsi hlíny, sláma, konopí, len a další dostupné stavební hmoty organického původu. Syntetické materiály se poprvé objevují ve 20. století, nepoužívanějším z nich je polystyren, který se používá dodnes a postupně se vylepšuje. Dalšími materiály jsou minerální vaty, vakuové izolace, foukané izolace, PUR pěny atd. V současné době je na trhu mnoho nových druhů izolací a stále se vyvíjí další. Rozeznáváme dva základní druhy zateplení fasád, jedním způsobem je kontaktní zateplení a druhý pracuje na principu provětrávané fasády.

2.1 Pěnové izolační materiály

Izolaci v pěnových materiálech tvoří zejména vzduch, nebo jiný plyn, který se vyskytuje v malých bublinách materiálu, bubliny jsou tak malé, že zde nedochází ke konvekci. Tyto materiály dosahují tepelné vodivosti $0,03 - 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Mezi pěnové materiály patří různé druhy polystyrenů, pěnové sklo atd. [2]

2.1.1 Polystyren

Polystyren je v současné době jeden z nepoužívanějších tepelných izolantů. Do skupiny polystyrenových hmot patří standardní (krystalový, čirý) polystyren, houževnatý PS, zpěňovatelný polystyren (EPS), vytlačovaný pěnový polystyren (XPS) a kopolymery. Polystyren má velmi dobré izolační vlastnosti, dobře odolává kyselinám, při stárnutí křehne a vytváří se v něm trhlinky, je citlivý vůči UV záření. Polystyren se vyrábí suspenzí polymerace za zvýšené teploty. Poté se přetváří na bloky, desky, tvarovky. [3]

2.1.2 Pěnový polystyren EPS

Nejběžnější druh v dnešní době je pěnový polystyren, který se vyrábí z malých kuliček (výchozí surovina je ropa) obsahující 6-7 % pentanu (nadouvadlo), dochází k předpětí a poté se naplní do formy. Jakmile dojde k zahřívání, tak kuličky vyplní celý prostor a vytvoří jednotnou vrstvu pěnového polystyrenu. Tento typ polystyrenu má nízkou cenu, hmotnost a dobře se s ním manipuluje. Další výhodou je, že se jedná o poměrně pevný a homogenní materiál, ale má omezenou tepelnou odolnost a hořlavost. Ke stěnám se kotví lepením nebo mechanicky.

Součinitel tepelné vodivosti EPS polystyrenu nabývá hodnot $0,037 - 0,039 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Při ponoření nebo delším styku s vodou polystyren nasákne a tím ztrácí své vlastnosti. Nevýhody bílého polystyrenu se nahrazují přidáváním velmi jemného grafitu, který potlačuje radiační přenos tepla, proto součinitel tepelné vodivosti klesne na hodnotu $0,032 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. [2][4]



Obr. 2 Pěnový EPS polystyren [5]

2.1.3 Grafitový polystyren (šedý)

Šedý polystyren patří mezi nejnovější typy EPS, který disponuje lepšími tepelně-izolačními vlastnostmi, a to díky tomu, že částice grafitu zpomalují šíření tepla, tudíž teplo z budovy hůř uniká. Tento polystyren dosahuje součinitele tepelné vodivosti $0,032 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, takže má vynikající tepelný výkon. Dochází zde k úspoře energie asi až o 20 % a nevytváří tepelné mosty. Není vhodný pro dřevostavby, protože voda, která odchází ze dřeva se zadržuje v polystyrenu a příliš pomalu se odpařuje. Mezi další nevýhody patří, že nesmí být na přímém slunečním záření a při kontaktu s ohněm taje a vydává černý kouř. [6]



Obr. 3 Grafitový polystyren [26]

2.1.4 Pěnové sklo

Pěnové sklo se vyrábí z mletého skla a uhlíkového prášku rozemletého na jemný prach. Při zahřívání této směsi (cca na $1000 \text{ }^\circ\text{C}$) se roztaví sklo, tím vzniká oxid uhličitý, který vytvoří pěnu a ta vyplní celou formu a zvýší její objem. Konečný stav materiálu vznikne až po ochlazení na pokojovou teplotu 20°C . Ve vzniklém materiálu se objevují bubliny, a to je výhodou, že je materiál nehořlavý a parotěsný. Další výhodou je velká pevnost v tlaku, takže se desky používají při izolaci základů, plochých střech nebo sklepů. Dále se používá na přerušování tepelných mostů. Tento druh izolace má součinitel tepelné vodivosti $0,04 - 0,048 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nevýhodou je vysoká cena. [2][7]



Obr. 4 Pěnové sklo [8]

2.1.5 Extrudovaný polystyren XPS

XPS polystyren se vyrábí vytlačováním polystyrenu s napěňovací přísadou. Má uzavřenou strukturu pórů, a tím je nenasákavý, díky této vlastnosti se může použít na izolaci míst, kde bude odolávat kontaktu s vodou. Má vyšší mechanickou pevnost než pěnový polystyren. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozmezí $0,03 - 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Dále se používá na staticky zatěžované konstrukce. Extrudovaný polystyren je dražší než běžný pěnový polystyren. [2][5]



Obr. 5 Extrudovaný polystyren [7]

2.1.6 Pěnový polyuretan PUR

Má podobnou strukturu jako extrudovaný polystyren. Má dobré izolační vlastnosti, jeho součinitel dosahuje hodnoty $0,023 - 0,032 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, a je dobře odolný vůči vysokým i nízkým teplotám. Neodolává UV záření, proto se na povrch přidává hliníková fólie nebo ochranný nátěr. Mezi další nevýhodu patří vyšší cena. Vyrábí se buď ve formě tuhých desek, nebo jako polyuretanová pěna, která se aplikuje přímo na povrch, který izolujeme. Používá se většinou tam, kde chceme zaplnit veškeré detaily a složitě tvarované konstrukce. [2][9]



Obr. 6 Pěnový polyuretan [10]

2.2 Vlákenné izolační materiály

Mezi tyto materiály patří minerální vata, skelná vata, celulózová vlákna, ovčí vlna, konopí atd. Mezi jemnými vlákny je uzavřený vzduch, který dokáže izolovat stejně dobře jako vzduch uzavřený v bublinkách v pěnových izolačních materiálech. Hlavním rozdílem mezi vláknitými a pěnovými materiály je, že vláknité izolační materiály dokážou lépe propouštět vzduch a vodní páru. Tato vlastnost může být jak výhodou, tak i nevýhodou. V případě nasáknutí izolace vodou tato izolace ztrácí izolační vlastnosti. [2]

2.2.1 Minerální vlna

Jedná se o ekologický izolant, který pochází z přírodního původu. Minerální vata se vyrábí z taveného čediče a přidáním protiplísňové přísady. Má výborné izolační vlastnosti, mezi hlavní patří nehořlavost a umí zabránit šíření požáru. Vlna dokáže odpuzovat vodu, takže ji lze umístit tam, kde se vyskytuje vysoká relativní vlhkost. Dokáže pohlcovat vzduch, takže se dá použít k odhlučnění interiéru. Dodává se v jednotlivých rolích, které se používají pro zateplování střech nebo ve formě desek. Používá se nejen k zateplování budov, ale také pro zateplování potrubí, nádrží nebo také v automobilovém průmyslu. Součinitel tepelné vodivosti se pohybuje v rozsahu $0,03 - 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Řadí se mezi dražší izolace a její instalace je náročnější, protože se musí použít ochranné prostředky, v důsledku uvolňování vláken při manipulaci. Vlákna mohou poškodit kůži nebo vyvolat alergickou reakci. [9][11]



Obr. 7 Minerální vlna [12]

2.2.2 Skelná vata

Skelná vata se stejně jako minerální vata vyrábí tavením hornin, rozdíl je v tom, že do skelné vaty se přidává křemík místo čediče. Tato izolace má nízký difúzní odpor, který má za následek vysokou paroprůstnost. Paroprůstnost způsobuje lepší odvod vlhkosti z domu (odpařuje se). Skelná vata má podobné vlastnosti jako minerální vlna. Hlavním rozdílem mezi minerální a skelnou vatou je pouze v technologii výroby. Stejně jako u minerální se musí používat ochranné prostředky při manipulaci. Využívá se na izolaci fasád, střech nebo oken. Součinitel tepelné vodivosti je od $0,032$ do $0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. [2][9]



Obr. 8 Skelná vata [13]

2.2.3 Celulózová vlákna

Tato izolace se vyrábí z recyklovaného novinového papíru, do kterého se přidávají chemické přísady, aby odolávaly plísním, hnilobám a ohni. Aby se snížila hořlavost, tak se izolace impregnuje boraxem, který když se zahřeje uvolňuje krystalovou vodu, která ochlazuje materiál a poté při vyšší teplotě je vytvořena sklovitá vrstva zabraňující šíření ohně. Aplikace se provádí foukáním pomocí speciálního stroje. Je vhodná pro izolaci malých, těžko dostupných prostorů. Při návrhu je potřeba počítat se sedáním izolace, proto je nutné ztuhnit materiál. Jelikož je tento materiál z recyklovaného papíru, tak se chová jako savý papír, váže na sebe vlhkost ze zdiva a předává ji dál. Tato izolace se používá především v dřevostavbách nebo pasivních domech. U této izolace se součinitel tepelné vodivosti pohybuje mezi $0,036 - 0,039 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. [1][2][7]

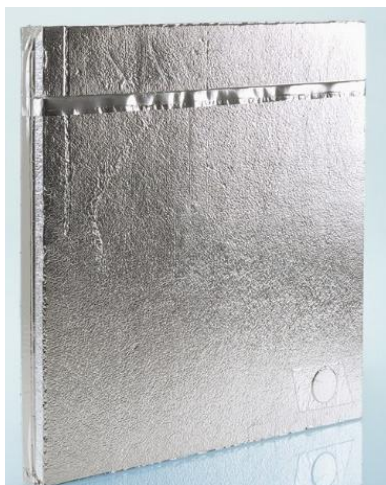


Obr. 9 Celulózová izolace [14]

2.3 Vakuová izolace

Vnitřní část izolace je tvořena částicemi oxidu křemičitého, který je uzavřen ve vzduchotěsném obalu. Vnější obal se nesmí porušit, protože by izolace ztratila své vlastnosti. V ostatních izolacích tvoří většinu objemu vzduch, a to způsobuje, že tepelné vodivosti se blíží hodnotě vzduchu. U vakuových izolací se snažíme vysát vzduch, aby se nám tepelná vodivost snížila na co nejmenší hodnoty, a tím vytvoříme vakuum. Tyto hodnoty se pohybují v rozmezí $0,006 - 0,008 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Vakuové izolace jsou schopné dosahovat několikrát vyšších izolačních vlastností než ostatní materiály, protože zde nedochází k přenosu tepla vedením, ale sáláním. Používá se tam, kde není dostatek prostoru pro klasickou izolaci, např. na podlahy s podlahovým vytápěním. Dále se také využívá v potravinářském průmyslu pro uchování

potravin v mrazících nebo chladících boxech. Nevýhodou vakuové izolace je její vysoká cena a nemožnost úprav rozměrů. [9][15]



Obr. 10 Vakuová izolace [16]

2.4 Okna

Okna jsou nezbytnou součástí všech domů. Jejich hlavním účelem je propouštět do domů denní světlo a větrat dané prostory. Okna mohou být zdrojem velkých tepelných ztrát, a proto až se zjistí velký únik tepla, je zapotřebí okna buď vyměnit nebo zrenovovat. Skládají se z rámu a skleněné výplně. Rámy bývají nejčastěji z plastu, dřeva nebo hliníku. Výplň je nejčastěji ze skla a rozdělují se podle počtu skel na dvojskla nebo trojskla. Mezi jednotlivými skly se nachází izolační vrstva, kterou nejčastěji tvoří vzduch.

2.4.1 Dřevěná okna

Dřevěná okna se vyrábí lepením dřevěných vícevrstvých hranolů nebo kombinací s jiným materiálem, např. s hliníkem. Při správné údržbě mají tato okna velmi vysokou životnost. U oken je důležitá povrchová úprava, kvůli vnějším povětrnostním vlivům. Díky variabilitě lze okna různě upravovat podle vlastních požadavků. Mají dobré tepelně izolační vlastnosti. Mezi nevýhody se řadí vysoká cena, citlivost rámu na sluneční záření a tím stárnutí laku a nutná údržba. Jestliže se nedodrží pravidelná údržba, tak může dojít ke vniknutí vlhkosti do dřeva a tím k degradaci materiálu. [18]



Obr. 11 Dřevěné okno [21]

2.4.2 Plastová okna

Plastová okna jsou v současné době nejvíce používaná. Mají dobré tepelně-izolační vlastnosti a jsou cenově dostupné. Existuje několik variant jak barevných nebo tvarových. Oproti dřevěným oknům jsou nenáročné na údržbu a jsou vysoce odolné. Jedinou údržbou je mazání kování, mazání těsnění silikonovým olejem a udržovat odtokové kanálky volné. Rámy oken jsou vyráběny z PVC bez změkčovadel a vyrábí se pomocí technologie extruze. I plastová okna mají své nevýhody např. mají malou statickou únosnost a nehodí se na velkoformátová okna. Jsou náchylná na vysoké teploty a tím může dojít u materiálu k deformaci, proto se občas používá venkovní opláštění hliníkem. [19][22]



Obr. 12 Plastové okno [25]

2.4.3 Hliníková okna

Hliníková okna disponují elegantním vzhledem. Rámy oken se skládají ze dvou materiálů – z hliníku a z části neměkčeného PVC. Na trhu se objevují v širokém výběru barev. Jsou vhodná na velkoformátová okna (posuvná okna, francouzská okna), mají dlouhou životnost, vysokou odolnost a minimální nároky na údržbu. Ve srovnání s dřevěnými a plastovými mají statickou odolnost a únosnost. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena. [20][23]



Obr. 13 Hliníkové okno [24]

3 Výpočet tepelných ztrát rodinného domu

3.1 Informace o domě

3.1.1 Umístění domu a klimatické podmínky

Dům, pro který se počítají tepelné ztráty se nachází na Vysočině v okrese Třebíč. Rodinný dům stojí samostatně a plány jsou z roku 1917 (2000). Nadmořská výška je 490 m. n. m. Klimatické podmínky pro danou lokalitu, které jsou z normy Energetická náročnost budov – výpočet tepelného výkonu – Část 1, jsou uvedené v tabulce. Nejbližší klimatická stanice je uvedena pro Třebíč (Bítovánky). Začátek a konec otopného období při $\theta_{np,e} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tab. 2 Klimatické údaje.

Klimatické údaje			
	Značka	Hodnota	Jednotka
Venkovní výpočtová teplota	θ_e	-15	$^{\circ}\text{C}$
Průměrná venkovní teplota za otopné období	$\theta_{e,m}$	3,1	$^{\circ}\text{C}$
Počet dnů otopného období	d	263	Den

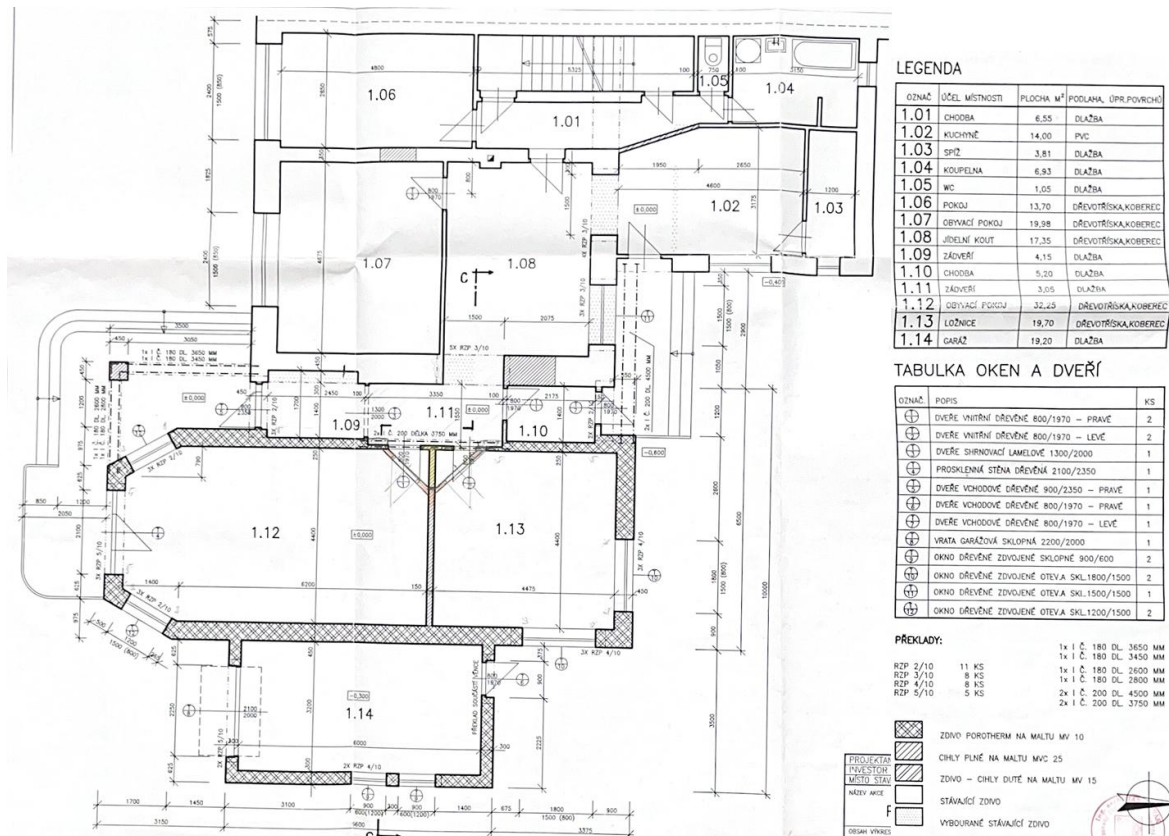
3.1.2 Plán domu a rozmístění místností

Rodinný dům je přízemní s půdním prostorem a z části podsklepený. Dům má dva vchody, jeden z jižní a druhý ze severní strany. Obytná část domu obsahuje 5 místností (ložnice, obývací pokoj, 3x pokoj), tyto místnosti jsou rovnoměrně uspořádány a propojeny jednotlivými chodbami. Dále se v domě nachází sociální část, do které je zařazena koupelna, WC, jídelna a kuchyně. Z chodby vedle kuchyně se vchází do půdního prostoru, který je neobydlený a nevytápěný. Vedle vchodu na půdu se nachází vchod do sklepa, který obsahuje menší chodbu a dvě místnosti. Sklep se dá považovat za technickou místnost, protože jsou v něm umístěny zařízení na vytápění domu a ohřev vody. K domu je dále připojena garáž.

Pro zjištění tepelných ztrát si musíme zjistit údaje o jednotlivých místnostech. Především se jedná o plochu a objem místností, dále je potřeba určit teploty místností, na které musí být vytápěny. Tyto hodnoty jsem odečetl z normy. Jednotlivé údaje jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 3 Údaje o vytápěných místnostech.

Vytápěné místnosti			
Místnost	Plocha – A_k	Objem – V_i	Teplota - $\theta_{int,i}$
	m^2	m^3	$^{\circ}\text{C}$
Ložnice, 1.13	19,7	49,2	20
Obývací pokoj, 1.12	33,0	82,4	20
Pokoj 1, 1.07	23,9	59,7	20
Chodba, 1.11	5,2	12,7	20
Pokoj 2, 1.06	13,7	34,2	20
Hala, jídelna, 1.08	22,3	54,8	20
Kuchyně, 1.02	14,6	36,5	20
Koupelna, 1.04; WC, 1.05	6,4	15,9	24
Celkem	162,5	405,2	



Obr. 14 Půdorys rodinného domu

V domě se také nacházejí nevytápěné místnosti, pro které se musí spočítat teplotní opravný činitel, který zohledňuje rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou sousedního prostředí a venkovní výpočtovou teplotou podle rovnice:

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (3)$$

kde je:

$\theta_{int,i}$... vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru

θ_x ... teplota sousedního prostoru nebo prostředí

θ_e ... venkovní výpočtová teplota

f_1 ... opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou prostředí a venkovní výpočtovou teplotou

Tab. 4 Údaje o nevytápěných místnostech.

Nevytápěné místnosti				
Místnost	Plocha – A _k	Objem – V _i	Teplota - θ _{int,i}	Činitel – f ₁
	m ²	m ³	°C	-
Přední vstup, 1.09	3,4	8,4	15	0,6
Zadní vstup, 1.10	3,1	7,5	15	0,6
Spíž, 1.03	3,8	9,5	15	0,5
Chodba, 1.01	5,9	14,6	20	0,14
Garáž, 1.14	19,2	48	5	0,6
Celkem	35,4	88		

3.1.3 Skladby stěn, stropů a podlah

Dům je rozdělen na starou a novou část, přičemž každá má odlišné konstrukční vlastnosti. V nové části jsou obvodové stěny postaveny z cihel Porotherm a zatepleny polystyrenem o tloušťce 50 mm. Podlahy se skládají z vrstvy betonu, tepelné izolace z polystyrenu a finální vrstvy tvořené plovoucí podlahou nebo kobercem. Stará část domu má konstrukčně různorodé stěny. Některé jsou z tvárníc YTONG, jiné jsou zhotoveny ze směsi cihel, kamene a hlíny. Podlahové skladby zde zahrnují beton, dřevotřísku a jako nášlapná vrstva je použito linoleum, koberec nebo plovoucí podlaha. Stropy v obou částech jsou tvořeny prkny připevněnými z obou stran na dřevěné trámy. Mezi prkny se nachází vzduchová mezera sloužící jako izolace. Dále je ve skladbě tzv. palach (lisované desky Solomit) a betonová vrstva, která zajišťuje pochozí plochu půdy. Většina konstrukcí ve staré části domu není zateplená.

3.1.4 Zdroj vytápění

Dům je zásobován teplem primárně za pomoci tepelného čerpadla vzduch – voda. Jako doplňkový zdroj tepla jsou krbová kamna bez výměníku. Teplota se reguluje ručně na termostatu umístěného v obývacím pokoji. Abychom mohli vypočítat ekonomickou návratnost jednotlivých zateplení domu, je zapotřebí vědět roční spotřebu elektřiny na vytápění a celkové náklady. Tyto hodnoty odečteme z faktur od dodavatele.

3.2 Výpočet tepelných ztrát pro nezateplený dům

V následující části se budeme zabývat výpočtem tepelných ztrát jednotlivých místností. Výpočet bude probíhat podle normy ČSN EN 12831-1, Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Jednotlivé výpočty budou probíhat v programu Excel. Na začátku této části jsou ukázány obecné rovnice, na základě kterých se budou provádět výpočty.

3.2.1 Návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor

Návrhový tepelný výkon se skládá z tepelných ztrát. První z nich je tepelná ztráta vstupem z vytápěného prostoru a druhou tvoří tepelná ztráta větráním. Pro výpočet návrhového tepelného výkonu je použita rovnice:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (4)$$

kde je:

$\Phi_{HL,i}$... návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru,

$\Phi_{T,i}$... návrhová tepelná ztráta prostupem (součet všech tepelných ztrát),

$\Phi_{V,i}$... návrhová tepelná ztráta větráním.

3.2.2 Návrhové tepelné ztráty prostupem vytápěného prostoru

Hlavní rovnice pro zjištění celkové návrhové tepelné ztráty se skládá z dílčích tepelných ztrát prostupem. Samotná rovnice je ve tvaru:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (5)$$

kde je:

$\Phi_{T,i}$... návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru,

$H_{T,ie}$... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí,

$H_{T,ia}$... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor,

$H_{T,iae}$... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory,

$H_{T,iaBE}$... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy,

$H_{T,ig}$... měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy,

$\theta_{int,i}$... vnitřní výpočtová teplota,

θ_e ... venkovní výpočtová teplota.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí nám vyjadřuje obvodové zdi domu (obálka domu), a odděluje vytápěný prostor od venkovního. V této rovnici se vyskytuje součinitel prostupu tepla a opravný činitel, který odečteme z normy.

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}) \quad (6)$$

kde je:

A_k ... plocha stavební části,

U_k ... součinitel prostupu tepla stavební části,

$f_{U,k}$... opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy; hodnota použita z normy, $f_{U,k} = 1$ z přílohy B.2.2,

$f_{ie,k}$... teplotní opravný činitel.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných nebo nevytápěných prostor, nebo přes ně (sousedním prostorem může být např. jiná vytápěná místnost, sousední byt, půda, sklep), se vypočte podle rovnice:

$$H_{T,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}) \quad (7)$$

kde je:

A_k ... plocha stavební části,

U_k ... součinitel prostupu tepla stavební částí,

$f_{ia,k}$... teplotní opravný činitel.

Pro výpočet $H_{T,iaBE}$ a $H_{T,iae}$ se použije stejná rovnice jako (7), pouze se změní teplotní opravný činitel.

Při návrhu měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do zeminy je potřeba určit opravné činitele. Tento výpočet zohledňuje tepelné ztráty podlahou a stěnou sklepa. Vypočítá se podle vztahu:

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) \quad (8)$$

kde je:

$f_{\theta ann}$... opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku; hodnotu použijeme z normy, $f_{\theta ann}=1,45$,

$U_{equiv,k}$... ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zeminou.

Dále se musí určit geometrický parametr podlahové desky B' podle rovnice:

$$B' = \frac{A_G}{0,5 \cdot P} \quad (9)$$

kde je:

B' ... geometrický parametr podlahové desky,

A_G ... plocha podlahové desky,

P ... nechráněný obvod podlahové desky.

Podle tohoto parametru můžeme určit ekvivalentní součinitel prostupu tepla $U_{equiv,k}$.

$f_{GW,k}$... opravný činitel zohledňující vliv spodní vody; pokud je hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky, $f_{GW,k}=1$,

$f_{ig,k}$... teplotní opravný činitel, který se vypočítá podle vztahu:

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

kde je:

$\theta_{e,m}$... průměrná venkovní teplota za otopné období.

V následující tabulce jsou znázorněny výpočty součinitele prostupu tepla a následně součinitele tepelné ztráty pro obývací pokoj. V této místnosti jsou použity všechny druhy tepelných toků.

Tab. 5 Výsledky výpočtů tepelné ztráty prostupem pro obývací pokoj.

Obývací pokoj, 1.12			
z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí			
Místnost	Plocha	Součinitel prostupu tepla	Součinitel tepelné ztráty
	A_k [m²]	U_k [W/m²K]	H_{T,ie} [W/K]
Vnější stěna	20,2	0,23	4,73
Francouzské okno	4,6	1,8	8,28
Dřevěné okna s izolačním dvojsklem	3,5	2,5	8,63
z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných, a nevytápěných			
Stěna k nevytápěnému prostoru – garáž	11,9	0,34	2,39
Stěna do sousedního vytápěného prostoru – ložnice	11	-	-
Dveře na chodbu	1,8	-	-
Strop k nevytápěnému prostoru – půda	32,9	0,32	9,62
Stěna k přednímu vstupu, 1.10	6,3	0,75	2,83
z vytápěného prostoru do země			
Podlaha na zemině	32,9	0,36	3,89
Rozdíl teplot	$\theta_{int,i} - \theta_e$		35 °C
Celkem	H_{T,ie}		40,37 W/K
Návrhová tepelná ztráta prostupem	$\Phi_{T,i}$		1412,9 W

3.2.3 Návrhová tepelná ztráta větráním

Tento výpočet bude probíhat pro přirozené větrání, které zahrnuje klasické větrání pomocí otevírání oken. V domě se nenachází žádná klimatizace ani ventilátory. Základní rovnice pro výpočet návrhové tepelné ztráty větráním se spočítá podle vzorce:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (11)$$

kde je:

$\Phi_{V,i}$... návrhová tepelná ztráta větráním,

$H_{V,i}$... součinitel tepelné ztráty větráním, kde se objevuje hustota a měrná tepelná kapacita vzduchu,

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \approx 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (12)$$

kde je:

\dot{V}_i ... výměna vzduchu ve vytápěném prostoru při přirozeném větrání,

ρ ... hustota vzduchu při $\theta_{int,i}$,

c_p ... měrná tepelná kapacita vzduchu za konstantního tlaku při $\theta_{int,i}$.

Pro určení \dot{V}_i je zapotřebí vypočítat hodnoty množství infiltrovaného vzduchu a minimální hygienické množství vzduchu. Z těchto dvou výsledků použijeme ten, který má vyšší hodnotu.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}; \dot{V}_{min,i}) \quad (13)$$

kde je:

$\dot{V}_{inf,i}$... množství vzduchu, které se vyměnilo infiltrací (výměna vzduchu netěsnostmi spár mezi okny nebo dveřmi),

$\dot{V}_{min,i}$... minimální výměna vzduchu z hygienických důvodů,

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (14)$$

kde je:

n_{50} ... intenzita výměny vzduchu budovou za hodinu vzniklé při rozdílu tlaků 50 Pa,

e_i ... součinitel ochrany budovy proti větru,

ε_i ... výškový korekční faktor, který zohledňuje nárůst rychlosti větru s vertikální vzdáleností uvažovaného prostoru od země.

Dále je potřeba vypočítat minimální výměnu vzduchu podle rovnice:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (15)$$

n_{min} ... minimální intenzita větrání, hodnota se stanoví z tabulky B.7.

V tabulce 6 jsou uvedeny výsledky výpočtů návrhové tepelné ztráty větráním pro obývací pokoj.

Tab. 6 Výsledky výpočtů tepelné ztráty větráním pro obývací pokoj.

Obývací pokoj, 1.12									
n_{min}	n_{50}	e_i	ε_i	V_i	$\dot{V}_{min,i}$	$\dot{V}_{inf,i}$	\dot{V}_i	$H_{V,i}$	$\Phi_{V,i}$
0,5	6	1	0,03	82,4	41,2	29,664	41,2	14,008	490,28
h ⁻¹	h ⁻¹	-	-	m ³	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	W/K	W

3.2.4 Celková návrhová tepelná ztráta nezatepleného domu

Pro každou vytápěnou místnost se počítaly jak tepelné ztráty prostupem, tak tepelné ztráty větráním. V tabulce 7 jsou zobrazeny výsledky tepelných ztrát pro všechny místnosti. Po sečtení všech výsledků vyšla ztráta tepla 14 060 W. V následujících kapitolách se zaměřím na energetické opatření domu a snížení úniku tepla.

Tab. 7 Výsledky tepelné ztráty nezatepleného rodinného domu.

Celková tepelná ztráta			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Pokoj 1, 1.07	2680,85	355,22	3036,07
Pokoj 2, 1.06	1393,82	203,49	1597,31
Obývací pokoj, 1.12	1412,92	490,28	1903,20
Ložnice, 1.13	921,40	292,74	1214,15
Kuchyně, 1.02	1270,46	651,53	1921,90
Koupelna, 1.04; WC, 1.05	890,22	375,92	1266,14
Hala, jídelna, 1.08	2142,40	326,06	2468,46
Chodba, 1.11	576,97	75,57	652,53
Celkem	11188,55	2770,81	14059,76

3.3 Výpočet tepelných ztrát pro zateplený dům

Tato část práce je zaměřena na snížení tepelných ztrát domu několika způsoby zateplení. První způsob, jak snížit únik tepla z budovy je zateplení vnějších stěn domu polystyrenem Isover EPS 70 F 200 a 150 mm. Při výpočtech tepelných ztrát nezatepleného domu bylo zjištěno, že nejvíce tepla uniká stropem na půdu, která neobsahuje žádnou izolaci. Tudíž se použije pochozí izolace do nevytápěných prostor od výrobce Isover StepCross. Dalším místem, kde uniká velké množství tepla jsou podlahy, které se zateplí polystyrenem Isover EPS 100 o tloušťce 150 mm. Aby se domu snížily tepelné ztráty co nejvíce, je potřeba vyměnit stará okna, která už nesplňují svůj účel, za tepelně izolační okna.

3.3.1 Zateplení vnější stěny budovy EPS polystyrenem 200 mm

První variantou izolace je zateplení vnějších stěn domu EPS polystyrenem. Na části domu je polystyren o tloušťce 50 mm, zbytek stěn je bez izolace. Tam, kde je již použita izolace se zateplí pouze 150 mm a všechny ostatní stěny 200 mm.

Tab. 8 Výsledky tepelných ztrát při zateplení vnějších stěn domu.

Zateplení vnějších stěn			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Pokoj 1, 1.07	2288,84	355,22	2644,05
Pokoj 2, 1.06	1232,02	203,49	1435,51
Obývací pokoj, 1.12	1333,52	490,28	1823,80
Ložnice, 1.13	852,00	292,74	1144,74
Kuchyně, 1.02	1240,50	651,53	1892,02
Koupelna, 1.04; WC, 1.05	724,92	375,92	1100,84
Hala, jídelna, 1.08	2118,08	326,06	2444,13
Chodba, 1.11	576,97	75,57	652,53
Celkem	10366,85	2770,81	13137,62

Při zateplení obvodových stěn domu je z výsledku patrné, že celková tepelná ztráta klesla pouze o 922,14 W, což je snížení ztráty o 6,7 %. Z toho vyplývá, že zateplit pouze vnější stěny domu nestačí a je potřeba vyřešit i jiné části domu.

3.3.2 Zateplení podlahy půdy za pomoci Isover StepCross

Jak již bylo zmíněno, nejvíce tepla uniká právě stropem na půdu. Proto je zapotřebí tuto tepelnou ztrátu snížit. Aby se zachoval nevytápěný půdní prostor a pochozí podlaha, použije se systémová skladba Isover StepCross.

Tab. 9 Výsledky tepelných ztrát při zateplení podlahy na půdě.

Zateplení podlahy půdy			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Pokoj 1, 1.07	1267,65	355,22	1622,86
Pokoj 2, 1.06	583,74	203,49	787,23
Obývací pokoj, 1.12	1165,10	490,28	1655,37
Ložnice, 1.13	773,00	292,74	1065,70
Kuchyně, 1.02	1270,46	651,53	1922,00

Koupelna, 1.04; WC, 1.05	890,22	375,92	1266,14
Hala, jídelna, 1.08	823,80	326,06	1150,00
Chodba, 1.11	537,80	75,57	613,40
Celkem	7311,77	2770,81	10082,70

Jestliže se zateplila podlaha na půdě, tak celková tepelná ztráta se snížila téměř o 4 kW, resp. o 28,3 %. Ve srovnání se zateplením obvodových stěn se jedná o výrazný pokles úniku tepla.

3.3.3 Zateplení podlahy EPS polystyrenem 150 mm

Další možností, jak snížit tepelnou ztrátu je pokládka polystyrenu na podlahy v obytných prostorech. Podlahou, stejně jako stropem prostupuje velké množství tepla, které je potřeba zredukovat na nižší hodnoty, aby se ušetřilo na energiích. Navrhované zateplení je provedeno EPS polystyrenem o tloušťce 150 mm.

Tab. 10 Výsledky tepelných ztrát při zateplení podlahy.

Zateplení podlahy			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Pokoj 1, 1.07	2494,54	355,22	2849,76
Pokoj 2, 1.06	1287,03	203,49	1490,52
Obývací pokoj, 1.12	1404,90	490,28	1895,19
Ložnice, 1.13	911,81	292,74	1204,55
Kuchyně, 1.02	665,68	651,53	1317,20
Koupelna, 1.04; WC, 1.05	539,66	375,92	915,58
Hala, jídelna, 1.08	1976,7	326,06	2302,77
Chodba, 1.11	576,97	75,57	652,50
Celkem	9857,29	2770,81	12628,07

Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že zateplením podlahy se tepelná ztráta snížila o přibližně 1,4 kW. Tímto způsobem zateplení došlo ke snížení prostupu tepla o 10,2 % z tepelné ztráty nezatepleného domu.

3.3.4 Výměna starých oken za okna s lepšími izolačními vlastnostmi

Pokud se bude zateplovat vnější stěna, podlahy na půdě a podlahy v obytných prostorech, nesmí se zapomenout na výměnu některých starých oken, které už nespĺňují tepelně-izolační vlastnosti. V této práci použijí plastová okna s izolačními skly od firmy QELLAN, která mi vytvořila cenovou nabídku. Okna je potřeba vyměnit v obývacím pokoji, ložnici a v hale.

V tabulce 11 jsou žlutě označeny řádky, ve kterých se měnila okna a došlo ke změně hodnoty tepelné ztráty.

Tab. 11 Výsledky tepelných ztrát při výměně oken.

Výměna oken			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Pokoj 1, 1.07	2680,85	355,22	3036,07
Pokoj 2, 1.06	1393,82	203,49	1597,31
Obývací pokoj, 1.12	1222,13	490,28	1712,40
Ložnice, 1.13	672,55	292,74	965,30
Kuchyně, 1.02	1270,46	651,53	1921,90
Koupelna, 1.04; WC, 1.05	890,22	375,92	1266,14
Hala, jídelna, 1.08	1959,90	326,06	2286,00
Chodba, 1.11	576,97	75,57	652,53
Celkem	10666,90	2770,81	13437,65

Tabulka 11 znázorňuje tepelné ztráty jednotlivých místností v objektu po provedení výměny stávajících oken za nová s lepšími tepelně-izolačními vlastnostmi. Výměna oken se týká pouze místností, které jsou zvýrazněny žlutě (obývací pokoj, ložnice, kuchyně, hala/jídelna). Tyto prostory byly z hlediska tepelných ztrát nejvíce ovlivněny prostupem tepla přes původní okenní výplně a díky jejich výměně dochází ke snížení celkových tepelných ztrát v objektu o necelých 5 %.

3.3.5 Zateplení domu všemi variantami

V poslední části jsem se zaměřil na zateplení všemi variantami dohromady.

Tab. 12 Výsledky tepelných ztrát po zateplení celého domu.

Celkové zateplení domu			
Místnost	Návrhová tepelná ztráta prostupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková návrhová tepelná ztráta
	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Pokoj 1, 1.07	689,33	355,22	1044,5
Pokoj 2, 1.06	315,14	203,49	518,6

Obývací pokoj, 1.12	864,60	490,28	1354,9
Ložnice, 1.13	409,10	292,74	701,8
Kuchyně, 1.02	641,29	651,53	1292,8
Koupelna, 1.04; WC, 1.05	330,0	375,92	706,0
Hala, jídelna, 1.08	456,30	326,06	782,4
Chodba, 1.11	537,80	75,57	613,4
Celkem	4243,60	2770,81	7014,4

Při využití poslední varianty zateplení by došlo ke snížení tepelné ztráty domu přibližně o 7 kW, což představuje výrazný pokles ve srovnání s nezateplenou verzí objektu. Díky tomuto opatření by celková tepelná ztráta klesla přibližně na 50 % původní hodnoty, což výrazně zlepšilo energetickou efektivitu budovy a snížilo nároky na vytápění.

3.4 Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby tepla na vytápění jsem prováděl za pomoci vzorců, které jsou uvedeny na webu TZB info. Nejprve je zapotřebí si stanovit počáteční podmínky pro lokalitu, kde se objekt nachází. Jak již bylo výše zmíněno, dům se nachází v lokalitě Třebíč. Pro zjištění celkové roční potřeby tepla pro vytápění $Q_{VYT,r}$ se vypočítá podle vzorce:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon \cdot 24 \cdot \Phi_{HL,i} \cdot D}{\eta_o \cdot \eta_r \cdot (\theta_{int} - \theta_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (16)$$

kde je:

θ_e ... venkovní výpočtová teplota = -15 °C

ε ... opravný součinitel = 0,68

$\Phi_{HL,i}$... celková tepelná ztráta

D ... počet denostupňů

η_o ... účinnost obsluhy (možnost regulace soustavy) = 0,98

η_r ... účinnost rozvodů vytápění = 0,98

θ_{int} ... vnitřní výpočtová teplota = 20 °C

Celková roční potřeba tepla na vytápění se bude počítat pro jednotlivé varianty zvlášť, aby byly vidět rozdíly ve spotřebě.

Ze vzorce (16) je potřeba zjistit počet vytápěcích denostupňů a určí se podle vzorce:

$$D = d \cdot (\theta_{int} - \theta_{e,m}) \quad (17)$$

kde je:

$\theta_{e,m}$... průměrná venkovní teplota za otopné období = 3,1 °C

d ... počet dnů otopného období = 263 dnů

$$D = d \cdot (\theta_{int} - \theta_{e,m})$$

$$D = 263 \cdot (20 - 3,1)$$

$$D = 4445 \text{ K} \cdot \text{dny}$$

Tab. 13 Potřeba tepla na vytápění.

Druh zateplení	$Q_{VYT,r}$ [MJ/rok]	$Q_{VYT,r}$ [kWh/rok]
Nezateplený	108 422	30 117
Zateplené vnější stěny	101 311	28 142
Zateplená podlaha půdy	77 753	21 598
Zateplená podlaha	97 382	27 050
Výměna oken	103 625	28 785
Celkové zateplení	54 092	15 025

Výsledky v tabulce potvrzují, že celkové zateplení má zásadní vliv na energetickou náročnost budovy. Zateplením celého objektu se potřeba tepla sníží přibližně na polovinu oproti nezateplené variantě.

3.5 Spotřeba elektrické energie na vytápění

Pro porovnání jednotlivých variant zateplení je důležité znát spotřebu elektrické energie, kterou tepelné čerpadlo využívá pro vytápění. K jejímu výpočtu potřebujeme sezónní koeficient účinnosti (SCOP), který je uveden v technických parametrech konkrétního zařízení. V tomto případě má tepelné čerpadlo, použité pro vytápění posuzovaného domu, hodnotu SCOP 4,69. Spotřeba roční elektrické energie $E_{v,r}$ se vypočítá podle vzorce:

$$E_{v,r} = \frac{Q_{VYT,r}}{SCOP} \quad (18)$$

Tab. 14 Spotřeba elektrické energie na vytápění + cena.

Druh zateplení	$E_{v,r}$ [kWh/rok]	Cena [Kč]
Nezateplený	6422	32 302
Zateplené vnější stěny	6000	30 180
Zateplená podlaha půdy	4605	23 163
Zateplená podlaha	5768	29 013
Výměna oken	6137	30 869
Celkové zateplení	3204	16 116

Tabulka ukazuje roční spotřebu elektrické energie potřebnou na vytápění budovy v závislosti na různých typech provedeného zateplení. Výchozím stavem je nezateplený dům s nejvyšší spotřebou 6422 kWh/rok. Následují varianty dílčích opatření (zateplení vnějších stěn, podlahy půdy, podlahy a výměna oken), které vedou k mírnému až střednímu snížení spotřeby energie. Největšího efektu je dosaženo při kompletním zateplení všech konstrukčních prvků celého objektu, kdy spotřeba klesá na 3204 kWh/rok. To představuje přibližně 50 % úsporu ve srovnání s původním stavem bez zateplení. Tato úspora vede i ke snížení nákladů za elektřinu.

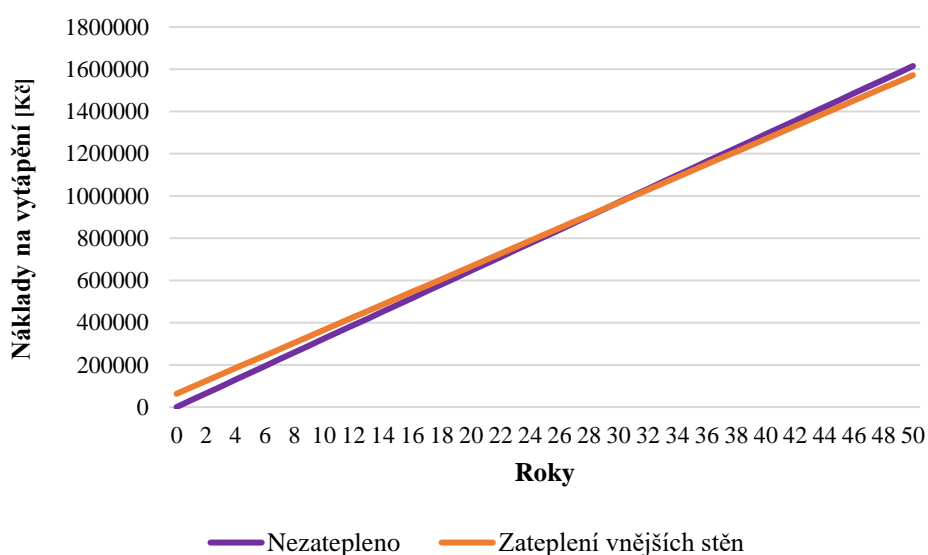
4 Ekonomické porovnání navrhovaných zateplení

V této kapitole je provedeno ekonomické porovnání jednotlivých variant zateplení rodinného domu, které byly navrženy pro 5 různých druhů izolací. Jedním z cílů této práce bylo zjistit, která z možností přináší nejvýhodnější poměr mezi počáteční investicí a dosaženou úsporou energie během životnosti zateplení. Do výpočtů jsou zahrnuty nejen pořizovací náklady na materiál, ale i cena práce spojená s realizací zateplení. Při některých typech zateplení není započtena cena za práci z důvodu, že realizaci zateplení nebude provádět firma. Součástí ekonomického porovnání je výpočet návratnosti investice a dlouhodobého ekonomického přínosu z hlediska provozních úspor. Výsledky porovnání všech variant jsou poté zobrazeny do grafu. Návratnost investic se spočítá podle vzorce:

$$\text{Návratnost} = \frac{\text{investice}}{\text{úspora}} = \frac{\text{celková cena zateplení}}{\text{aktuální spotřeba} - \text{spotřeba při zateplenní}} \quad (19)$$

4.1 Rozpočet na zateplení vnějších stěn budovy

Zateplení se provedlo 200 mm polystyrenem na plochu 42 m². Celkové náklady za materiál a práci jsou odhadovány na 63 000 Kč. Následující graf znázorňuje dlouhodobé srovnání nákladů na vytápění mezi nezatepleným domem a zateplení vnějších stěn. Zateplený dům vykazuje postupné snižování provozních nákladů. Kolem 30. roku dochází ke zlomovému bodu, od tohoto roku začíná zateplení přinášet čistou úsporu, tento rozdíl se v dalších letech zvyšuje.



Graf. 1 Návratnost investic při zateplení vnějších stěn domu.

4.2 Rozpočet na zateplení podlahy půdy

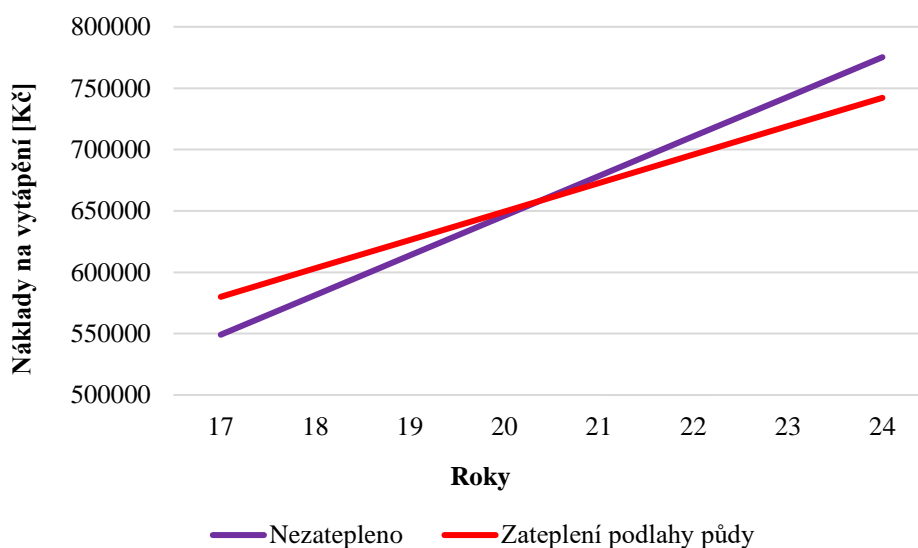
Jako izolace podlah se použil izolační systém Isover StepCross. Jedná se o skladbu pro zateplení půd a trvale neobyvatelných prostor, tato skladba slouží jako pochozí. K instalaci se používá řada materiálů, hlavní izolací zde slouží minerální vlna, která se vkládá mezi konstrukci složenou z EPS křížů a trámů. Pod izolaci se pokládá tzv. parozábrana, která chrání izolaci před zvlhnutím, které by zhoršilo její izolační vlastnosti. Aby mohla být izolace pochozí, tak se na trámy pokládají prkna a na ně poté OSB desky. Vše se spojuje za pomoci vrutů a montážní

pěny. Celková plocha pro instalaci izolace činí 155 m² a náklady za materiál je naceněn na 186214 Kč. Ceny jednotlivých materiálů jsou uvedeny v tabulce 15.

Tab. 15 Přehled použitých materiálů a nákladů na zateplení podlahy půdy.

Druh materiálu	Množství	Rozměry [mm]	Cena [Kč]
Isover UNI, m. vlna	38 bal.	1 200 × 600 × 100	28 321
	93 bal.	1 200 × 600 × 200	55 451
Isover kříž EPS	100 ks	500 × 100 × 300	17 714
Isover trám EPS	160 ks	1 000 × 100	23 542
OSB desky	95 ks	2 500 × 625 × 22	38 115
Parozábrana	3 ks	40 000 × 1 500	17 250
Dřevěná prkna	40 ks	24 × 100 × 4 000	3 760
Montážní pěna + vruty	10 + 1000 ks	3 × 20, záp. T10	2 061

Graf ukazuje návratnost investic do zateplení podlahy půdy při pohledu na náklady na vytápění. Počáteční investice do zateplení stropu jsou vysoké, avšak zateplením se sníží tepelné ztráty a tím i spotřeba elektrické energie. V porovnání s nezatepleným domem lze z grafu zjistit, že k přelomu dochází přibližně po 20 letech, po tomto roce začne zateplení přinášet finanční úspory energie na vytápění.

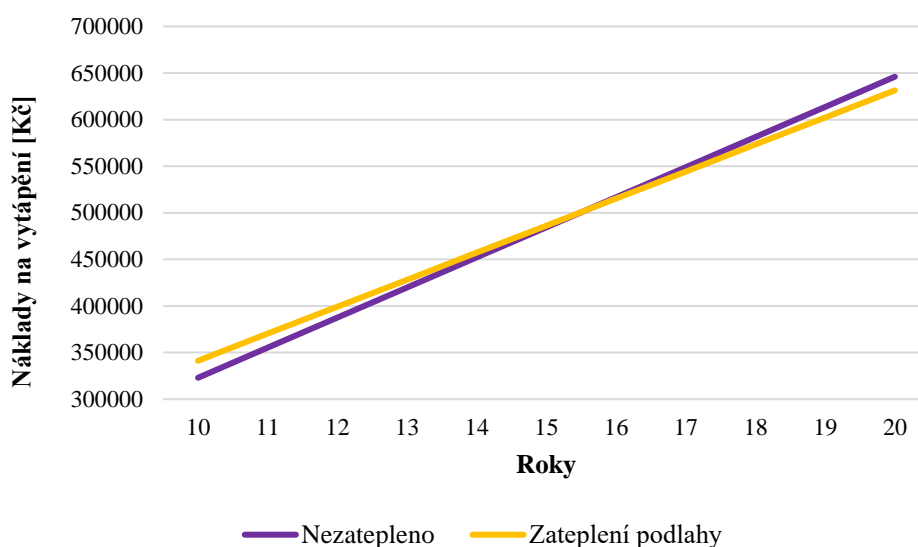


Graf. 2 Návratnost investic při zateplení podlahy půdy.

4.3 Rozpočet na zateplení podlahy

Zateplení podlahy je realizováno pomocí podlahového expandovaného polystyrenu EPS 100. V obývacím pokoji, ložnici a chodbě byla použita vrstva o tloušťce 50 mm, neboť v těchto místnostech je již 100 mm vrstva izolace z předchozí výstavby. Ve zbývajících částech domu, kde chyběla původní izolace, je aplikována nová vrstva o tloušťce 150 mm. Při této instalaci dojde ke snížení tepelných ztrát podlahou a tím ke snížení spotřeby elektrické energie. Celkové

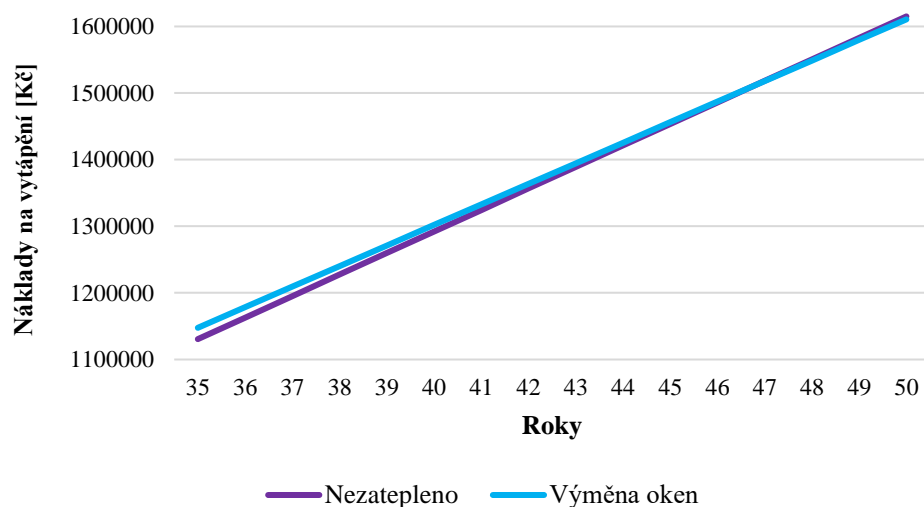
náklady za materiál a práci byly odhadnuty na 51 117 Kč. Z následujícího grafu lze vidět, že návratnost investic do zateplení podlahy se očekává přibližně za 16 let.



Graf. 3 Návratnost investic při zateplení podlahy.

4.4 Investice do výměny oken

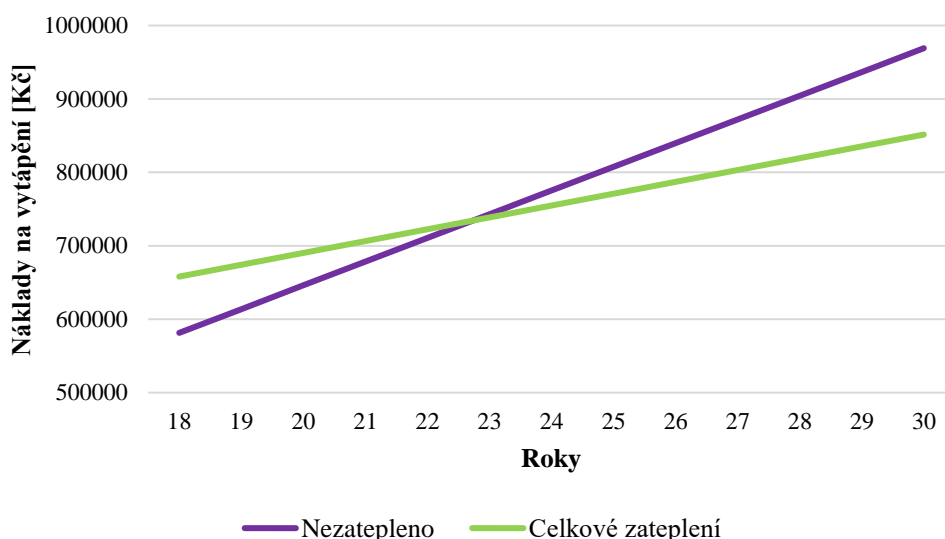
Výměna oken proběhne ve třech místnostech, obývací pokoj, ložnice a hala/jídelna, v těchto místnostech jsou stará okna a už nesplňují svůj účel. Celkem 6 oken je naceněno firmou QELLAN. Jedná se o jednodílná okna 1140/1470 mm, dvojdílná okna (štulp) 1500/1500 mm, jednodílné okno 680/1500 mm a dvojdílné okno (příčka) 1500/1500 mm. Celková cena 67 159 Kč zahrnuje materiál, montáž a dopravu. Jestliže dojde k výměně oken, tak návratnost investic se projeví až po 47 letech, neboť při instalaci nových oken nedojde k výraznému poklesu tepelných ztrát.



Graf. 4 Návratnost investic při výměně oken

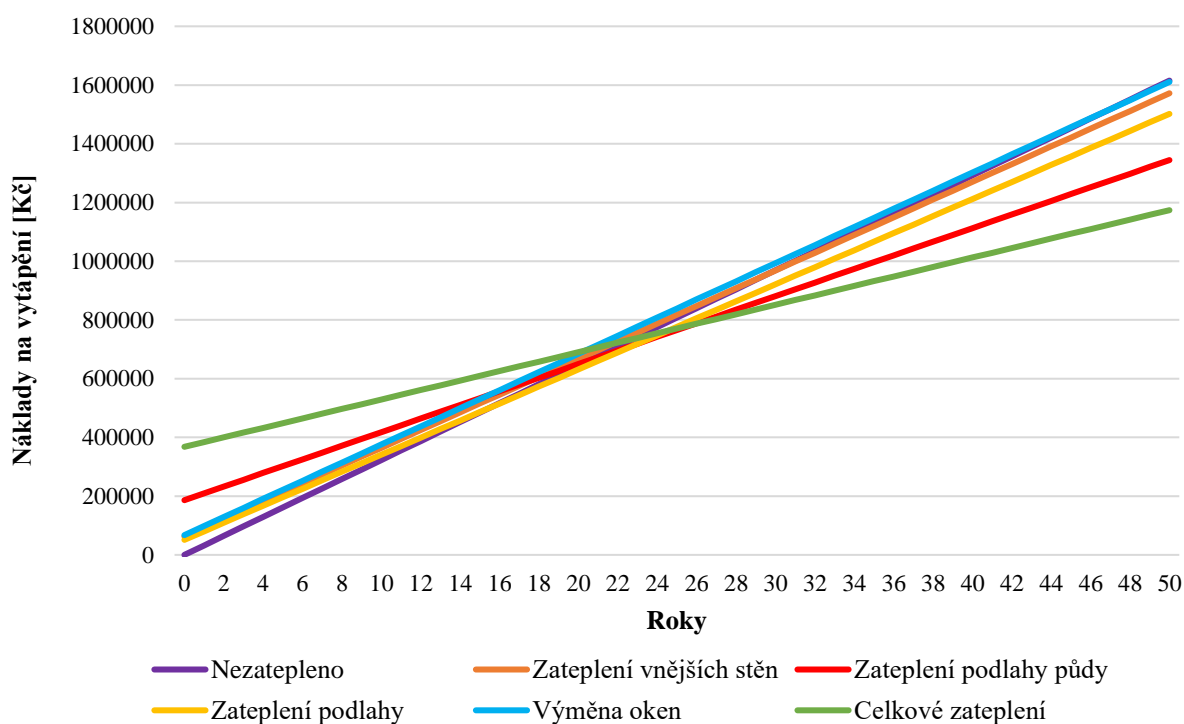
4.5 Rozpočet na zateplení všemi variantami

Pokud chceme dosáhnout nejmenších tepelných ztrát, je nutné zkombinovat všechny předchozí varianty zateplení. Tato komplexní varianta výrazně sníží tepelné ztráty domu (téměř o polovinu oproti původnímu stavu) a zároveň vede ke zdatelnému poklesu spotřeby elektrické energie. Přestože je celková investice vyšší než u jednotlivých opatření samostatně (367 961 Kč), její návratnost nastává přibližně po 23 letech. Po těchto letech se úspory na provozních nákladech výrazně projeví a dále každou topnou sezónou rostou.



Graf. 5 Návratnost investic při celkovém zateplení domu

4.6 Výsledný graf návratnosti investic



Graf. 6 Návratnosti investic

Graf zobrazuje vývoj celkových nákladů na vytápění v horizontu 50 let pro různé varianty zateplení. Je zde srovnán nezateplený stav s jednotlivými opatřeními a s kompletním zateplením všech konstrukcí. Na svislé ose jsou uvedeny celkové náklady na vytápění a na vodorovné ose počet let. Z grafu je patrné, že ačkoliv jednotlivá opatření na začátku znamenají investici navíc, jejich návratnost se v řádu let projeví (většina variant zateplení kříží nezateplenou křivku přibližně mezi 16. – 30. rokem), což představuje bod zvratu. Od tohoto bodu je provoz s daným zateplením ekonomicky výhodnější než ponechání budovy bez zásahu.

Z výše uvedeného grafu lze vyčíst, že dlouhodobé náklady se budou snižovat, ale počáteční investice bude poměrně vyšší. Zelenou křivkou je znázorněna největší úspora na vytápění a tím i nejrychlejší návratnost investice při delším časovém horizontu.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala analýzou izolačních materiálů a poté zhodnocením jejich vlivu na tepelné ztráty rodinného domu. Hlavním cílem této práce bylo ekonomicky porovnat jednotlivé druhy zateplení domu v porovnání s nezateplenou variantou.

V teoretické části byl proveden popis izolačních materiálů, které se nejčastěji používají při zateplování rodinných domů, jejich tepelně-izolační vlastnosti, součinitele prostupu tepla, výhody, nevýhody a použití. K zabránění úniku tepla nestačí pouze zateplit vnější stěny domu, ale je potřeba také počítat s výměnou starých oken za nová izolační. Z toho důvodu jsou v teoretické části popsány druhy oken, které se objevují na trhu.

V praktické části je popsáno umístění výpočtového domu a klimatické podmínky, ve kterých se nachází. Dále bylo v práci vysvětleno dispoziční uspořádání místností v domu a jejich rozdělení na vytápěné a nevytápěné. Pro výpočty tepelných ztrát je nutné znát skladbu jednotlivých konstrukcí domu a zdroj vytápění. Poté byly vypsány jednotlivé výpočty tepelných ztrát, které se skládají z tepelné ztráty prostupem a větráním. Nejprve jsem provedl výpočet stávajícího nezatepleného domu, kde tepelná ztráta s celkovou vytápěnou plochou 162,5 m² vyšla 14,06 kW. Při této variantě spotřebujeme 6422 kWh/rok elektrické energie.

Navržené zateplení bylo na tři konstrukce – vnější stěny, podlaha půdy, podlahy a poté výměna oken ve třech místnostech (obývací pokoj, ložnice, kuchyně, hala/jídelna). Na zateplení vnějších stěn byla vybrána izolace EPS o tloušťce 50 a 150 mm. Zateplením stěn se tepelná ztráta snížila o 6,7 % na hodnotu 13,14 kW, při tomto zateplení bude spotřeba el. energie 6000 kWh/rok. Při výpočtech jsem vyhodnotil, že nejvíce tepla uniká právě stropem, na jeho zateplení byl použit izolační systém Isover StepCross. Jestliže byla nainstalována izolace na půdu, tak tepelná ztráta se snížila téměř o 4 kW, tím se sníží i spotřeba elektrické energie na 4605 kWh/rok. Zateplením podlah v obytných prostorech pomocí EPS tloušťky 150 mm se tepelná ztráta snížila o 1,4 kW oproti nezateplené variantě. Tímto zateplením klesla také spotřeba na hodnotu 5768 kWh/rok. V neposlední řadě byla provedena výměna oken, při nichž nedosáhneme takových úspor, jak při ostatních variantách zateplení. Při použití všech variant zateplení dohromady, nám tepelná ztráta i spotřeba elektrické energie klesne o polovinu.

Posledním cílem bylo ekonomicky porovnat navrhované varianty zateplení. Jako nejvýhodnější se ukázalo zateplení podlahy půdy, u kterého se investice v celkové hodnotě 186 214 Kč vrátí přibližně za 20 let. Naopak nejméně výhodná je varianta výměny oken, při které je počáteční investice sice nižší, ale návratnost by byla až za 47 let. V případě, že bude provedena realizace kompletního zateplení celého domu, investice bude činit 367 961 Kč, přičemž návratnost této investice se projeví přibližně po 23 letech. Toto zateplení se v následujících letech pozitivně odrazí na snížení spotřeby elektrické energie a tím i snížení ceny za elektřinu na fakturách od dodavatele.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Tepelné izolace.* [Online]. Penatus.cz. 2021. Dostupné z: <https://www.penatus.cz/tepelne-izolace/>. [cit. 2025-01-21].
- [2] *Tepelné izolace: Polystyren, minerální vata a další.* [Online]. Nazeleno.cz. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/tepelne-izolace-polystyren-mineralni-vata-a-dalsi/>. [cit. 2025-01-21].
- [3] *Polystyren.* [Online]. Wikipedia. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polystyren>. [cit. 2025-01-21].
- [4] *Syntetické izolační materiály.* [Online]. Izolace-info.cz. 2020. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/pasivni-domy/22325-serial-stavba-pasivnich-domu-8-dil-synteticke-izolacni-materialy-prehledna-tabulka-a.html>. [cit. 2025-01-21].
- [5] *Polystyrenové izolace.* [Online]. TZB-info. Dostupné z: <https://m.tzb-info.cz/tepelne-izolace/297-polystyrenove-izolace>. [cit. 2025-01-21].
- [6] *Šedý polystyren.* [Online]. Daibau.cz. Dostupné z: https://www.daibau.cz/clanek/727/sedy_polystyren_-_vynikajici_fasada_za_mene_penez. [cit. 2025-01-21].
- [7] *Tepelné izolace. Přehled, materiály a použití.* [Online]. Stavebnictvi3000.cz. 2021. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelna-izolace-velky-prehled>. [cit. 2025-01-21].
- [8] *Pěnové sklo.* [Online]. Daibau.cz. Dostupné z: https://www.daibau.cz/clanek/490/penove_sklo. [cit. 2025-01-21].
- [9] *Tepelně izolační vlastnosti izolačních materiálů a jejich porovnání.* [Online]. Izolant.cz. Dostupné z: https://www.izolant.cz/tepelneizolacni-vlastnosti-izolacnich-materialu-a-jejich-porovnaní/#google_vignette. [cit. 2025-01-21].
- [10] *Zdravá tepelná izolace.* [Online]. Zdravaizolace.com. Dostupné z: https://www.izolant.cz/tepelneizolacni-vlastnosti-izolacnich-materialu-a-jejich-porovnaní/#google_vignette. [cit. 2025-01-21].
- [11] *Co je minerální izolace.* [Online]. Avmi.cz. Dostupné z: <https://www.avmi.cz/co-je-mineralni-izolace>. [cit. 2025-01-21].
- [12] *Minerální vata.* [Online]. Centrum zateplení. Dostupné z: <https://www.centrum-zatepleni.cz/izolacni-vata/mineralni-vata/mineralni-vata-isover-uni/?selectedVariant=976>. [cit. 2025-01-21].
- [13] *Skelná vata.* [Online]. Zofi.cz. Dostupné z: <https://eshop.zofi.cz/naturoll-pro-vata-na-zatepleni-stropu-a-podhledu/140mm-1200-x-4400-mm/popis>. [cit. 2025-01-21].
- [14] *Podlahová izolace Tepelná a zvuková izolace na nejvyšší úrovni.* [Online]. Thermofloc.com. Dostupné z: <https://www.thermofloc.com/cs/zasypove-izolacni-materialy/podlahovy-zasyp>. [cit. 2025-01-21].
- [15] *Vakuová izolace, VIP.* [Online]. Izolace-info. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/vakuova-izolace-vip/>. [cit. 2025-01-21].
- [16] *Vakuová izolace se do konstrukce umísťuje ve formě panelů.* [Online]. Dřevostavitel.cz. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/izolacni-materialy-5-dil--vakuova-izolace/59456>. [cit. 2025-01-21].
- [17] *Šedý – grafitový polystyren.* [Online]. Profisiet.sk. Dostupné z: <https://www.profisiet.sk/produkt/sivy-grafitovy-polystyren-80mm/>. [cit. 2025-01-21].
- [18] ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETRTYL. *Dřevěná okna.* TZB-info. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/237-drevena-okna>. [cit. 2025-01-21].

- [19] ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETR TYL. *Plastová okna*. TZB-info. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/236-plastova-okna>. [cit. 2025-01-22].
- [20] ŠUBRT, Roman a Zdeněk PETR TYL. *Hliníková okna*. TZB-info. [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/238-hlinikova-okna>. [cit. 2025-01-22].
- [21] *Dřevěné okno*. [Online]. PSK okna. Dostupné z: <https://www.pksokna.cz/drevene-okno-88>. [cit. 2025-01-22].
- [22] *Jaká vybrat okna*. [Online]. Okna creative. 2021. Dostupné z: <https://oknacreative.cz/jaka-vybrat-okna/>. [cit. 2025-01-22].
- [23] *Hliníková okna*. [Online]. Okna creative. Dostupné z: <https://oknacreative.cz/kategorie/okna/hlinikova-okna/>. [cit. 2025-01-22].
- [24] *Hliníková okna*. [Online]. PRAMOS. Dostupné z: <https://www.pramos.cz/okna/hlinikova-okna/>. [cit. 2025-01-22].
- [25] *Plastová okna*. [Online]. Svet-oken.cz. Dostupné z: <https://www.svet-oken.cz/cz/plastova-okna/techno-83>. [cit. 2025-01-22].
- [26] *Šedý – grafitový polystyren*. [Online]. Profisiet.sk. Dostupné z: <https://www.profisiet.sk/produkt/sivy-grafitovy-polystyren-80mm/>. [cit. 2025-01-22].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_k	Plocha stavební části	m^2
A_G	Plocha podlahové desky	m^2
B'	Geometrický parametr podlahové desky	m
c_p	Měrná tepelná kapacita vzduchu za konstantního tlaku	J/kgK
d	Počet dnů otopného období	<i>den</i>
D	Počet denostupňů	$K \cdot dny$
e_i	Součinitel ochrany budovy proti větru	-
$E_{v,r}$	Spotřeba roční elektrické energie	kWh/rok
$f_{ia,k}$	Teplotní opravný činitel (z prostoru do sousedního vytápěného prostoru)	-
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný činitel (z prostoru do venkovního prostředí)	-
$f_{ig,k}$	Teplotní opravný činitel (z prostoru do zeminy)	-
$f_{GW,k}$	Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	-
$f_{U,k}$	Opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	-
$f_{\theta ann}$	Opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku	-
f_1	Opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou prostředí a venkovní výpočtovou teplotou	-
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor	W/K
$H_{T,iaBE}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy	W/K
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory	W/K
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	W/K
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	W/K
$H_{V,i}$	Součinitel tepelné ztráty větráním	W/K
n_{min}	Minimální intenzita větrání	h^{-1}
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu budovou za hodinu vzniklé při rozdílu tlaků 50 Pa	h^{-1}
P	Nechráněný obvod podlahové desky	m
$Q_{VYT,r}$	Celkové roční potřeby tepla pro vytápění	kWh/rok
R_T	Tepelný odpor materiálu při přestupu tepla	m^2K/W
SCOP	Sezónní topný faktor	-

$U_{equiv,k}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zeminou	W/m^2K
U_k	Součinitel prostupu tepla stavební částí	W/m^2K
\dot{V}_i	Výměna vzduchu ve vytápěném prostoru při přirozeném větrání	m^3
$\dot{V}_{inf,i}$	Množství vzduchu, které se vyměnilo infiltrací	m^3/h
$\dot{V}_{min,i}$	Minimální výměna vzduchu z hygienických důvodů	m^3/h
α	Součinitel přestupu tepla	W/m^2K
δ	Tloušťka izolace	m
ε	Opravný součinitel	-
ε_i	Výškový korekční faktor	-
η_o	Účinnost obsluhy (možnost regulace soustavy)	-
η_r	Účinnost rozvodů vytápění	-
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
$\theta_{e,m}$	Průměrná venkovní teplota za otopné období	$^{\circ}C$
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
$\theta_{np,e}$	Průměrná denní venkovní teplota	$^{\circ}C$
θ_x	Teplota sousedního prostoru nebo prostředí	$^{\circ}C$
λ	Součinitel tepelné vodivosti	W/mK
ρ	Hustota vzduchu	kg/m^3
$\Phi_{HL,i}$	Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru	W
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem	W
$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním	W

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma prostupu tepla stěnou	12
Obr. 2 Pěnový EPS polystyren	14
Obr. 3 Grafitový polystyren	15
Obr. 4 Pěnové sklo	15
Obr. 5 Extrudovaný polystyren	16
Obr. 6 Pěnový polyuretan	16
Obr. 7 Minerální vlna	17
Obr. 8 Skelná vata	18
Obr. 9 Celulózová izolace	18
Obr. 10 Vakuová izolace	19
Obr. 11 Dřevěné okno	19
Obr. 12 Plastové okno	20
Obr. 13 Hliníkové okno	20
Obr. 14 Půdorys rodinného domu.....	22

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled izolačních materiálů.	13
Tab. 2 Klimatické údaje.	21
Tab. 3 Údaje o vytápěných místnostech.	21
Tab. 4 Údaje o nevytápěných místnostech.	23
Tab. 5 Výsledky výpočtů tepelné ztráty prostupem pro obývací pokoj.	26
Tab. 6 Výsledky výpočtů tepelné ztráty větráním pro obývací pokoj.	27
Tab. 7 Výsledky tepelné ztráty nezatepleného rodinného domu.	28
Tab. 8 Výsledky tepelných ztrát při zateplení vnějších stěn domu.	29
Tab. 9 Výsledky tepelných ztrát při zateplení podlahy na půdě.	29
Tab. 10 Výsledky tepelných ztrát při zateplení podlahy.	30
Tab. 11 Výsledky tepelných ztrát při výměně oken.	31
Tab. 12 Výsledky tepelných ztrát po zateplení celého domu.	31
Tab. 13 Potřeba tepla na vytápění.	33
Tab. 14 Spotřeba elektrické energie na vytápění + cena.	33
Tab. 15 Přehled použitých materiálů a nákladů na zateplení podlahy půdy.	36

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Výpočty a grafické znázornění