

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Územní technická a správní služba



Možnosti úspor energie v modernizovaných budovách

Bakalářská práce

Autor práce: Vojtěch Černý

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Praha 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Černý

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Možnosti úspor energie v modernizovaných budovách

Název anglicky

Possibilities of energy savings in modernized buildings

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést zhodnocení energetické náročnosti modernizovaných budov. Zaměřit se především na metody umožňující snížení spotřeby energie a dodržení potřebných provozních a hygienických parametrů pohody prostředí.

Na základě poznatků z literatury i vlastních úvah a měření provést rozbor možností využití různých druhů tepelně izolačních materiálů a energeticky úsporných systémů vytápění budov.

Metodika

Úvod

Cíl práce

Současný stav sledované problematiky

Metodika práce

Výsledky a diskuse

Závěr a doporučení

Seznam použitých zdrojů

Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu

Klíčová slova

Potřeba energie; tepelná bilance; tepelná izolace; vnitřní prostředí

Doporučené zdroje informací

Časopisy: Vytápění, větrání, instalace. Klimatizace.

Hudec, M.: Pasivní domy z přírodních materiálů. Grada, Praha, 2012, 157 s.

Chybík, J. Přírodní stavební materiály. Grada. Praha 2009. 272 s.

Nový, R. et al: Technika prostředí. ČVUT, Praha, 2000, 265 s.

Počinková, M.-Čuprová, D.-Rubinová, O: Úsporný dům. Computer press, Brno 2012. 184 s.


Székyová, M.- Ferstl, K.-Nový, R.: Větrání a klimatizace. JAGA, Bratislava 2006, 359 s.

Treuová, L.-Počinková, M.: Vytápění. Computer press, Brno 2011. 151 s.

Tywniak, J.: Nízkoenergetické domy – principy a příklady. Grada, Praha, 2005, 194 s.

Tywniak, J.: Nízkoenergetické domy 3. Nulové, pasivní a další. Grada, Praha, 2012, 195 s.

Valeš, M.: Inteligentní dům. Era vydavatelství, 2006, 123 s.



Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Pavel Kic, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 06. 2020

Česné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Úspora energie v modernizovaných budovách vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v přehledu použité literatury. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 6.4.2020

Vojtěch Černý

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval prof. Ing. Pavlu Kicovi, DrSc. za odborné vedení, podnětné konzultace a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Bakalářská práce má za cíl provést zhodnocení úspor energie v modernizovaných budovách a na konkrétním rodinném domě porovnat tepelnou bilanci před a po modernizaci. Pomocí měření pak ověřit dodržování hygienických parametrů vnitřního prostředí. V první, teoretické části, se práce zaměřuje na uvedení do problematiky. Vysvětluje, proč je modernizace budov důležitá z hlediska životního prostředí, ukazuje na problematiku a možnosti snižování tepelných ztrát, porovnává izolační materiály, definuje vybrané faktory ovlivňující pohodu prostředí, přibližuje problematiku vlhkosti v domech a představuje alternativní zdroje tepla. Praktická část, pomocí on-line kalkulátorů, porovnává náklady spojené s vytápěním u konkrétního rodinného domu v původním stavu a po modernizaci. Stanovuje dobu návratnosti investic do modernizace. Dále práce porovnává dva zdroje tepla. Pomocí měření ověřuje dodržování hygienických parametrů vnitřního prostředí.

Klíčová slova: potřeba energie, tepelná bilance, tepelná izolace, vnitřní prostředí

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to evaluate energy savings in modernized buildings. To compare the heat balance before and after modernization of a particular family house. Verify the observance of hygienic parameters of the indoor environment by measurements. In the first theoretical part, the thesis focuses on introduction of the issue. It explains why building modernization is important from the environmental point of view, issues and possibilities of reducing heat losses, compares insulating materials, defines selected factors influencing the comfort of the environment, explains the issue of humidity in houses and presents alternative sources of the heat. The practical part, using online calculators, compares the costs associated with heating for a particular house in its original state and after modernization. It determines the payback period of investment into modernization. Furthermore, the thesis compares two heat sources. By means of measurements It verifies the observance of hygienic parameters of the indoor environment.

Keywords: energy consumption, heat balance, thermal insulation, indoor environment

Obsah

1. Úvod	6
2. Cíle práce	7
3. Současný stav sledované problematiky.....	8
3.1 Vliv úspor energie ve stavebnictví na životní prostředí	8
3.2 Tepelné ztráty.....	9
3.2.1 Tepelné ztráty prostupem	9
3.2.2 Tepelné ztráty větráním	10
3.2.3 Rekuperace tepla.....	10
3.3 Tepelná bilance	11
3.4 Důvody zateplení budov.....	11
3.5 Tepelně izolační materiály.....	12
3.5.1 Pěnový polystyren	12
3.5.2 Extrudovaný polystyren.....	13
3.5.3 Minerální a skelná vlna.....	13
3.5.4 Celulóza	13
3.5.5 Konopí.....	13
3.5.6 Zátěž životního prostředí při výrobě izolačních materiálů.....	13
3.6 Faktory ovlivňující pohodu prostředí	15
3.6.1 Tepelná pohoda.....	15
3.6.2 Kvalita vnitřního vzduchu	16
3.7 Vlhkost v domech	17
3.7.1 Příčiny vzniku vlhkosti	17
3.7.2 Přípustná vlhkost stavebních konstrukcí.....	18
3.7.3 Optimální vlhkost vnitřního vzduchu	18
3.7.4 Teplota rosného bodu	19
3.8 Alternativní zdroje tepla.....	20
3.8.1 Tepelná čerpadla	20
3.8.2 Solární kolektory.....	21
4. Metodika	22
5. Vlastní řešení	26
5.1 Popis objektu	26
5.2 Klimatické podmínky	27
5.3 Rozměry objektu a jednotlivých konstrukcí	28
5.4 Součinitel prostupu tepla obvodové zdi.....	28
5.4.1 Výpočet obvodové zdi před zateplením.....	28

5.4.2 Výpočet obvodové zdi po zateplení	30
5.5 Výpočet rozdílu potřeby energie na vytápění	31
5.6 Výpočet tepelných ztrát prostupem.....	32
5.7 Návrh investice do zateplení.....	33
5.7.1 Náklady na zateplení	33
5.7.2 Návrh investice do zateplení.....	33
5.8 Zdroj tepla	34
5.8.1 Porovnání zdrojů tepla	34
5.9 Měření vnitřních hygienických parametrů prostředí	35
5.9.1 Měření teploty a vlhkosti prostředí.....	35
5.9.2 Měření povrchové teploty zdí	37
5.9.3 Měření relativní vlhkosti zdí	37
6. Výsledky.....	38
7. Diskuse	40
8. Závěr a přínos práce	41
Přehled literatury a použitých zdrojů.....	43
Seznam použitých obrázků.....	45
Seznam použitých tabulek.....	46
Přílohy.....	46

1. Úvod

V současnosti tvoří spotřebovaná energie pro vytápění a provoz budov 40 % celkové světové spotřeby energie. Na výrobu této energie jsou spotřebovávány hlavně přírodní a neobnovitelné zdroje. Snižování této spotřeby je proto tématem jak ve stavebnictví, tak v ochraně životního prostředí. Snižování energetické náročnosti budov šetří přírodní zdroje i finanční prostředky. V České republice je velký potenciál pro modernizaci obytných budov, protože jejich velká část nespĺňuje dnešní standarty. S modernizací je spojené zateplení. Zateplení znamená upravení tepelně technických vlastností budov, tak aby vyhovovaly dnešním požadavkům energetické náročnosti. Dobře navrhzené a provedené zateplení může snížit tepelné ztráty o 40–60 % a tím ušetří až polovinu nákladů na vytápění.

Další možnost, jak snížit potřebu energie je výměna zastaralých zdrojů tepla. Většina starých rodinných domů využívá kotle na pevná paliva jako jsou uhlí a dřevo. Spalování pevných paliv má negativní vliv na životní prostředí. Oblíbenou alternativou jsou tepelná čerpadla. Jejich bezobslužnost a šetrnost k životnímu prostředí, v kombinaci s dotačními programy, jsou důvody, pro které je domácnosti upřednostňují před klasickými kotly.

Modernizace budov má pozitivní vliv na vnitřní pohodu prostředí. V zimních měsících zabraňuje únikům tepla a v létě zmírňuje zahřívání interiéru. Zlepšuje se tak vnitřní pohoda prostředí. Zaizolováním domu se ale sníží výměna vzduchu infiltrací. Je proto důležité stále udržovat dostatečnou kvalitu vnitřního vzduchu a dalších hygienických parametrů prostředí.

Posuzovanou budovou bakalářské práce je rodinný dům, který prošel modernizací v roce 2008.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést zhodnocení úspor energie v modernizovaném rodinném domě. Zaměřit se především na metody umožňující snížení spotřeby energie. Pomocí měření ověřit dodržování potřebných provozních a hygienických parametrů pohody vnitřního prostředí. Uvést následky, které by mohli nastat v případě jejich nedodržení.

Na základě poznatků z literatury i vlastních úvah provést rozbor možností využití různých druhů tepelně izolačních materiálů z hlediska náročnosti na životní prostředí a jejich izolačních vlastností. Ukázat energeticky úsporné systémy vytápění budov. Na konkrétním příkladu prezentovat, co vše obnáší zateplení a modernizace starší budovy včetně jednotlivých konstrukcí. Uvést výhody modernizace, finanční náročnost a stanovit případnou délku návratnosti investice.

3. Současný stav sledované problematiky

3.1 Vliv úspor energie ve stavebnictví na životní prostředí

V současnosti tvoří spotřebovaná energie pro vytápění a provoz budov 40 % celkové světové spotřeby energie. Kromě toho energie spojená s provozem budov je příčinou vzniku 36 % celkové produkce emisí CO₂. Témata jako integrace obnovitelných zdrojů energie, snižování tepelné (energetické) bilance budov a vhodné využívání tepla jsou z hlediska technického i environmentálního velmi důležitá. Protože lidé tráví asi 80 % času svých životů uvnitř budov, změny tepelné bilance nesmí ohrozit dobré životní podmínky vnitřního prostředí. Z toho důvodu je kontrola vnitřního prostředí důležitá a má nepřímý účinek na úsporu energie. (Castilla et al., 2014)

Směrnice Evropské unie o energetické náročnosti budov mají významný vliv na snížení množství emisí CO₂ v ovzduší. Důvodem je požadavek na snížení energetické náročnosti při vytápění a klimatizaci budov. Státy Evropské unie, v roce 2002, produkovaly jen ve stavebním sektoru dohromady cca 725 000 t emisí CO₂ za rok. Největší podíl měl bytový sektor (asi 77 %). V bytovém sektoru nejvíc vyprodukuje rodinné domy, které zatěžují ovzduší každoročně 435 000 t za rok. (Janoušek 2005)

Hlavní potenciál snížení spotřeby energie na vytápění je u nemodernizovaných rodinných domů. Pokud by byla modernizace se zateplením u všech obytných budov, včetně rodinných domů, realizována okamžitě, roční produkce CO₂ by se snížila o 316 000 t za rok. (Janoušek 2005)

3.2 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty se dělí na tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. Celkové tepelné ztráty objektu jsou pak jejich součtem.

3.2.1 Tepelné ztráty prostupem

Tepelné ztráty prostupem způsobuje teplo, které prostupuje konstrukcemi každé budovy. Největší tepelné ztráty prostupem bývají střechou, stěnami, podlahou, okny a vstupními dveřmi. Procentuální rozložení těchto ztrát viz obrázek 1. (Dufka, 2005)

Obrázek 1: Procentuální rozložení tepelných ztrát rodinného domu



Zdroj: (Scottish Energy Grants 2016)

Snížení tepelných ztrát prostupem je možné pomocí stavebních materiálů s nízkým součinitelem prostupu tepla nebo dodatečnou izolací konstrukcí. Nejdůležitější vlastností izolačních materiálů je koeficient prostupu tepla. V minulosti se bral za dostatečný koeficient o hodnotě $1,25 \text{ W/m}^2$. Dnes se hodnoty koeficientu prostupu tepla pohybují okolo $0,25 \text{ W/m}^2$. Tepelné ztráty prostupem se tedy snížily pětkrát. (Dufka 2005)

3.2.2 Tepelné ztráty větráním

Tepelné ztráty větráním jsou proměnlivé a závisí na tom, jaké množství vzduchu v místnosti potřebujeme vyměnit za jednu hodinu. Větrání je z hygienických důvodů nutností. Kvůli snížení tepelných ztrát prostupem se omezilo přirozené větrání spárami oken. Nová úsporná okna nemají dostatečný prostor pro infiltraci vzduchu, a proto jsou z hygienického hlediska nevhodná. Nedostatek čerstvého vzduchu může mít za následek nekomfortní bydlení, zvýšenou vlhkost a tvorbu plísní. I přesto není výměna vzduchu zakotvena v žádném legislativním dokumentu. Doporučené hodnoty jsou uvedeny jen v některých technických normách. (Dufka 2005) (Mathauserová 2006)

Větrání může být přirozené, nucené a hybridní. Přirozené větrání funguje na principu vztlakového proudění vzduchu mezi interiérem a exteriérem o různé teplotě. Nucené větrání vyžaduje k výměně vzduchu práci mechanického zařízení – ventilátoru. Hybridní větrání je pak kombinace obou principů. (Adamovský nedatováno)

3.2.3 Rekuperace tepla

Kvůli potřebě větrání vznikají nemalé tepelné ztráty. Řešením může být rekuperace tepla. Při rekuperaci se vzduch přiváděný do interiéru ohřívá nebo ochlazuje vzduchem odváděným. Jako pohon pro dopravu vzduchu se využívají ventilátory. Výměna tepla probíhá v rekuperační jednotce, kde je umístěn tepelný výměník. Pomocí rekuperace je možné ušetřit část nákladů na vytápění případně chlazení. Rekuperační jednotky se v současné době u rodinných domů příliš nevyužívají. Důvodem je jejich vysoká pořizovací cena, která se pohybuje v několika desítkách tisíc korun. Vyplátí se například pro domy s více byty nebo panelové domy. (Dufka 2005)

3.3 Tepelná bilance

Vztah mezi tepelnými ztrátami, tepelnými zisky a množstvím dodaného tepla určují tepelnou (energetickou) bilanci budovy. Díky ní je možné stanovit množství energie na vstupu do objektu, aby kompenzovala všechny tepelné ztráty. Tuto bilanci lze sestavit pro krátkodobé časové úseky, ale i pro jednotlivé měsíce nebo celé roky. (Šubrt 2017)

Tepelné ztráty prostupem a větráním (výměnou vzduchu) musí být kompenzovány dodanou energií. Dodaná energie je pak součet všech tepelných zisků, jako například tepelná produkce osob, domácích spotřebičů, pasivních solárních zisků a samozřejmě otopné soustavy. Příznivě se projeví i zpětně získané teplo z rekuperace. (Šubrt 2017)

3.4 Důvody zateplení budov

Nejčastější důvod pro zateplení budov je snížení nákladů na vytápění. Tato jednorázová investice trvale sníží potřebu energie domu. V praxi je však někdy problém s realizací zateplení hned v projektové fázi. Je třeba navrhnout vhodnou tloušťku a druh tepelné izolace. Důležitá je také odborná montáž. Kvalitním projektem a odborně provedenou montáží se může ušetřit 40-60 % nákladů na vytápění. U nízkoenergetických až pasivních domů je to pak 70-97 % nákladů na vytápění. Staré nezateplené budovy mají spotřebu energie kolem 200 kWh/m². Běžné domy asi 115 kWh/m², nízkoenergetické domy 15-50 kWh/m² a pasivní domy 5-15 kWh/m². Rozdíly ve spotřebě energie na vytápění jsou tedy velmi znatelné. (Studený 2018)

Neustálý růst cen energií na vytápění pomáhá zvyšovat poptávku po zateplování budov. Dnes jsou již i legislativní úpravy, které nutí majitele k budoucím úsporám. Příkladem jsou energetické štítky, které jsou na každé budově povinné od roku 2013 nebo plány Evropské unie na zavádění směrnic pro zateplení každého nově postaveného objektu. (Studený 2018)

Trvalá ochrana konstrukce zateplením zvyšuje její životnost a prodlužuje tak i životnost celé budovy. Zamezí se například pronikání povětrnostních vlivů do konstrukce a její následná degradace. Zateplení může také zamezit tvorbě mrazových trhlin v obvodovém plášti, korozi vnitřní výztuže, snižuje pocit chladných stěn a v létě naopak jejich přehřívání. U většiny staveb může vlivem venkovních podmínek docházet k prasklinám, odlupování nátěru nebo omítky a zatékání do zdiva. Zvláště v zimních měsících se snižuje akumulace zdiva a mění se poloha rosného bodu, který se posouvá hlouběji. Tento posun má za následky tvorbu plísní či vlhké mapy na vnitřní omítce a její odlupování. Správnou tepelnou izolací se tyto jevy eliminují. V praxi to znamená prodloužení životnosti domu i o více než 30 let. (Studený 2018) (Chytre-bydlení.cz 2017)

Dalším důvodem zateplení je zlepšení estetického dojmu a zhodnocení stavby. Zateplený dům s novou fasádou v módních barvách působí moderněji a zvyšuje tak i komfort bydlení. Tyto jevy samozřejmě zvýší cenu nemovitosti a v případě bytových domů i ceny jednotlivých bytových jednotek. (Studený 2018)(Chytre-bydlení.cz 2017)

Snížení nákladů na chlazení a klimatizaci. Kvůli stálému růstu průměrné roční teploty se i v našich klimatických podmínkách poptávka po klimatizaci stále zvyšuje. Náklady na její pořízení a provoz je možné snížit, pokud je objekt kvalitně zateplený. V horkých letních měsících je v takto izolovaných domech stále poměrně příjemné prostředí. (Čepová 2016)

Zateplení pomáhá zlepšovat životní prostředí. Díky tepelné izolaci budov se teplo udržuje uvnitř objektu, což má za následek nižší požadavky na dodané teplo a s tím související pokles výroby, která produkuje emise skleníkových plynů jako například oxid uhličitý, oxid dusný, methan. (Studený 2018)

Zkrácení topné sezóny je další plus při zateplení domu. Projeví se hlavně v jarních a podzimních měsících, kdy se před zateplením stále vytápělo. Po zateplení tato potřeba není mnohdy nutná. Pro udržování požadované teploty postačí využívání tepelných zisků například ze slunečních paprsků. Ty tvoří u budov orientovaných na jih nezanedbatelný tepelný zdroj. Další tepelné zisky jsou například osoby v domě. Lidé produkují 115 až 260 W v závislosti na právě provozované činnosti. Velký tepelný zisk je také z vaření, žehlení a zapnutých elektrospotřebičů jako například televize a počítače. U nezateplených budov těchto tepelných zisků nelze využít tak efektivně a je proto potřeba prodloužení topné sezóny. (Studený 2018) (TZB-info 1994)

3.5 Tepelně izolační materiály

Zásadní vlastnost izolačních materiálů je součinitel tepelné vodivosti (λ). Uvádí se v jednotkách [$W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$]. Čím nižší součinitel tepelné vodivosti, tím vyšší účinnost tepelné izolace. Dalšími důležitými vlastnostmi jsou cena, hořlavost, pevnost, nasákavost, toxicita, tepelná stabilita a difuzní faktor. Difuzní faktor udává, jaké množství vodní páry je materiál schopen propustit. Podle těchto vlastností se volí vhodný materiál pro konkrétní objekt. Výpočtové hodnoty materiálů jsou uvedeny v normě ČSN 730540-3. Tepelně izolační materiály mají hodnotu tepelné vodivosti (λ) do $0,20 W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$. (Šubrt 1998)

3.5.1 Pěnový polystyren

Pěnový polystyren je u nás nejvíce používaným tepelně izolačním materiálem. Je značen zkratkou EPS. Důvodem jeho rozšíření je nízká pořizovací cena a nízký součinitel tepelné vodivosti, který se pohybuje od $0,04$ do $0,045 W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$. Využívá se hlavně na zateplení stěn a podlah. Běžně se dodává v deskách případně tvarovkách. Není vhodný k použití v místech s přímým slunečním zářením, jako třeba na střechách. Při teplotách okolo $70\text{ }^{\circ}C$ má tendenci se smršťovat. (Šubrt 1998)

3.5.2 Extrudovaný polystyren

Tento polystyren má nižší součinitel tepelné vodivosti než pěnový polystyren. Pohybuje se okolo 0,03 až 0,035 $W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$. Má nenasákavé póry, a tak je možné jeho využití i v trvale vlhkých místech. Používá se jako izolace do střech, kde nejsou běžně teploty vyšší než 75 °C. Dále na izolaci vozovek, podlah a stěn. Cena je v porovnání s pěnovým polystyrenem vyšší. (Šubrt 1998)

3.5.3 Minerální a skelná vlna

Tato tepelná izolace snáší i vysoké teploty až do 700 °C. Její tepelná vodivost se pohybuje od 0,035 do 0,076 $W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$. Nevýhodou je špatná pevnost v tlaku, která má za následek poškození skelných vláken což může vést až k rozlomení desky. Běžně se využívá pro izolaci střech, stěn a rozvodů médií. Tento materiál je přírodní, ekologicky nezávadný a není problém jej zlikvidovat. (Šubrt 1998)

3.5.4 Celulóza

Celulóza je další ekologicky šetrný izolační materiál. Vyrábí se ze starého papíru. Důležitá je ale její správná impregnace, neboť se jinak může celulóza stát zdravotně závadnou. Její použití je možné při teplotě od -50 °C až do 105 °C. Součinitel tepelné vodivosti má hodnoty od 0,037 do 0,08 $W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$. Využití celulózy je možné i tam, kam by se jiný materiál aplikovat nedal. Díky dávkování pomocí fukaru může celulóza vyplnit i malé a obtížně přístupné dutiny. Nevýhodou materiálu je nasákavost. Ta omezuje použití pouze pro suché prostory. (Šubrt 1998)

3.5.5 Konopí

Konopí může být ekologickou alternativou pěnového polystyrenu. Z konopí se vyrábějí rohože, ty se mohou použít k izolaci střech, podlah nebo stěn. Součinitel tepelné vodivosti je 0,040 $W^{-1}.m^{-1}.K^{-1}$. Konopí je dobře odvádí vlhkost a zabraňuje tak vzniku plísní. V tomto ohledu nabízí konopné izolace v porovnání s polystyreny mnohonásobně lepší výsledků. Jeho faktor difuzního odporu se pohybuje okolo $\mu=1,9$. U polystyrenů se tato hodnota pohybuje mezi $\mu=20$ až $\mu=30$. Použití je tedy vhodné u budov, které se potýkají se zvýšenou vlhkostí. (Škopek 2010)

3.5.6 Zátěž životního prostředí při výrobě izolačních materiálů

Každý stavební i izolační materiál má určité nároky na energie pro svoji výrobu. V následující tabulce (tabulka 1) jsou energetické hodnoty běžně používaných stavebních a izolačních materiálů, které jsou spojeny s těžbou, výrobou, dopravou a montáží. Ve druhém sloupci pak množství CO_2 , které je uvolňováno do ovzduší při výrobě. (Svoboda 2009)

Tabulka 1: Porovnání energetické náročnosti stavebních a izolačních materiálů

Materiál	Spotřeba energie na výrobu [MJ.kg⁻¹]	Spotřeba CO₂ při výrobě [g.kg⁻¹]
Beton	0,69	103
Celulóza	7,03	-907
Cihelné tvarovky	2,49	1760
Dřevo	2,72	-1409
Extrudovaný polystyren	98,5	3350
Minerální vlna	23,3	1640
Ocelová výztuž	22,7	935
OSB desky	9,3	-1168
Sádrokarton	4,44	200

Zdroj: (Svoboda 2009) *vlastní provedení*

Záporná čísla ve sloupci spotřeba CO₂ znamenají, že při výrobě materiálu není CO₂ vytvářen, ale spotřebováván. Nejčastěji používaný izolační materiál polystyren, vychází z tohoto pohledu jako největší producent oxidu uhličitého. Zajímavých hodnot dosahuje celulóza. Nejvíce šetrný stavební materiál je podle výsledků z této tabulky dřevo. (Svoboda 2009)

3.6 Faktory ovlivňující pohodu prostředí

3.6.1 Tepelná pohoda

Již v dávné minulosti si lidé stavěli přístřeší, aby se chránili před venkovními vlivy počasí. I vnitřní prostředí dnešních moderních budovách je ovlivňováno venkovním prostředím. Dnes tráví lidé většinu svého času uvnitř budov. Kvalita jejich života, spánku nebo práce, zdraví či nálada, je ovlivňována kvalitou vnitřního prostředí. Aby se dosáhlo požadované kvality, je nutné upravovat některé parametry vnitřního prostředí v objektu. Cílem je vytvoření pocitu takzvané tepelné pohody. (Centnerová 2000) (Hensen Centnerová 2016)

Tepelná pohoda je stav tepelných poměrů, kdy člověku není ani příliš teplo, ani příliš chladno a cítí se příjemně. Kromě teploty jsou důležitými faktory také rychlost proudění vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a teploty okolních ploch (stěn, podlahy a stropu). Posledně jmenovaný faktor je velmi často opomíjený, ačkoliv je neméně důležitý. (Centnerová 2000) (Hensen Centnerová 2016)

Tepelná pohoda je čistě osobní pocit, každý člověk ji vnímá individuálně. Záleží na izolační vrstvě (oblečení) a také na činnosti člověka. Každý z nás se obléká jinak, často v závislosti na venkovním počasí, ale i ve vnitřním prostředí mohou vznikat teplotní nerovnováhy. Obecně vnímají teplotu jinak ženy a muži. Záleží také na věku, zdravotním stavu, vrstvě podkožního tuku nebo na příjmu potravy a tekutin. (Centnerová 2000) (Hensen Centnerová 2016)

Pokud se člověk ocitne mimo svou tepelnou pohodu, začne reagovat adaptací na danou změnu. Adaptaci člověka je možné rozdělit do tří kategorií. Psychologická adaptace, fyziologická adaptace a adaptace chováním. Je možné pozorovat různé reakce lidí v různých typech interiéru. Spokojenosti s teplotou a zlepšení produktivity práce může být docíleno například individuální regulací teploty. Ta má za následek psychologický efekt – pocit důležitosti a fyziologický – ideální teplota. (Centnerová 2000) (Hensen Centnerová 2016)

K hodnocení tepelné pohody jsou používány dvě metody. Metoda dotazníkem a metoda měřením. U dotazníkové metody se zjišťuje celková spokojenost dotázaných s teplotou v průběhu času. Metoda měřením se provádí v laboratořích, kde se měří fyziologické změny člověka jako je pocení nebo teplota a vlhkost pokožky. Ke zjištění tepelné pohody pak pracovníci používají stupnici ASHRAE nebo Bedford. Pocitovému vnímání tepla odpovídá více Bedfordovo měřítko, zatímco stupnice ASHRAE popisuje více spokojenost člověka. Spokojenost lidí s uměle vytvořeným prostředím je klíčová. (Centnerová 2000) (Hensen Centnerová 2016)

Tepelná pohoda osob v budovách, ať již v práci nebo v domácnostech je dnes jedním ze základních požadavků při návrhu budovy, jejího větrání, vytápění a klimatizace. (Centnerová 2000)

3.6.2 Kvalita vnitřního vzduchu

Dalším významným faktorem ovlivňujícím vnitřní pohodu prostředí je kvalita vnitřního vzduchu. Ta z velké části závisí na kvalitě vzduchu venkovního. Dále ale také na množství vzdušných škodlivin, objemu větracího vzduchu a na navrženém větracím systému. Často se stává, že kvalita vzduchu uvnitř budovy je horší než kvalita vzduchu venku. Špatná kvalita venkovního vzduchu je způsobena především dopravou, průmyslem a užíváním budov. V současnosti je snaha, aby v energeticky úsporných budovách bylo zároveň i zdravé vnitřní prostředí. (Doležilková 2010)

Podle způsobu dopravy vzduchu do cílených prostorů lze větrání rozdělit na přirozené a nucené. Přirozené větrání je způsobeno vztlakovou silou. Je to například otevření okna. Nucené větrání využívá ventilátory, které jsou poháněny motorem. Základní jednotkou pro větrání je tzv. vzduchový výkon ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Za základní parametr se považuje výměna vzduchu v místnosti. Udává kolikrát za hodinu se vymění celý objem vzduchu dané místnosti. Minimální hodnota pro výměnu vzduchu v místnosti je podle hygienických předpisů 0,5. Znamená to tedy, že by se měl vzduch v místnosti kompletně vyměnit jednou za dvě hodiny. Ve veřejných budovách pak může být požadavek na výměnu vzduchu až desetinásobný. (Rubina a Rubinová 2005)

S přiváděným vzduchem jsou dnes spojeny i další požadavky, například na jeho teplotu nebo relativní vlhkost. Vzduchotechnické jednotky by proto měly umět přiváděný vzduch ohřát, zchladit, zvlhčit a odvlhčit. V dnešní době je velmi aktuální také čištění přiváděného vzduchu, jelikož hlavně ve velkých městech jsou často překračovány povolené limity množství škodlivin ve vzduchu. Na venkově je z pravidla situace výrazně lepší. Požadavky na větrání ale nestanovují různé množství větracího vzduchu pro různě znečištěné oblasti. (Doležilková 2010)

3.7 Vlhkost v domech

3.7.1 Příčiny vzniku vlhkosti

S vlhkostí se setkáváme v každém prostředí. Je jednou ze základních podmínek života. Problém s vlhkostí v domě nastává, pokud je nadměrná. Nadměrná vlhkost může být ve vzduchu i v konstrukcích. (Pehle 2002)

Jednou z příčin vzniku vlhkosti v domě jsou srážky. Každou stavbu ohrožují přírodní živly jako déšť a sníh. Proti srážkám je nejlepší ochrana správně zaizolovaná střecha a neporušené obvodové zdi. Problematickou částí jsou především místa s přechody mezi jednotlivými konstrukcemi. Například mezi obvodovou zdí a střechou. Dále také přechody mezi jednotlivými materiály. Srážky, hlavně déšť na návětrné straně domu, pronikají i do nejjemnějších spár. Zvláště nebezpečné jsou ploché střechy, kde se voda může zadržet déle, než na střechách šikmých nebo strmých. Malá trhlinka v izolaci může mít za následek provlhnuté stropy. (Pehle 2002)

Další příčinou může být vlhkost zemní. Tato vlhkost, šířící se ze země, je nejčastější příčinou poškození sklepních prostor a dalších místností v blízkosti povrchu. Stavba, která není dostatečně chráněna proti půdní vodě se chová jako houba. Vodu nasaje a vlhkost odvádí z půdy směrem vzhůru. V závislosti na použitém stavebním materiálu to může být až do výšky několika metrů. Novostavby se proti tomuto jevu chrání tzv. svislou a vodorovnou izolací. Do základu stavby a do svislých konstrukcí jsou přidávány vrstvy materiálu, které nepropouští vodu. (Pehle 2002)

Častou příčinou vlhkosti v domě je provozní vlhkost, která namáhá nejčastěji konstrukce oddělující prostory s rozdílným tlakem vodních par ve vzduchu. To jsou především konstrukce obvodového pláště budovy. Provozní vlhkost má zásadní vliv na mikroklima v objektu. Jeho zdrojem je vlhkost, která vzniká pobytem a prací člověka, případně provozem stavby. (Bláha a Bukovský 2004)

Nejčastějším původem vlhkosti v domě bývá kondenzace vodních par. Vodní páry jsou trvale obsaženy ve vzduchu a při poklesu teploty a vzestupu tlaku se pára na površích sráží a vznikají vodní kapky. Tento jev je obvykle pozorován na vnitřních stranách oken. (Pehle 2002)

3.7.2 Přípustná vlhkost stavebních konstrukcí

Přípustná vlhkost materiálů je stanovena tak, aby při ní nedocházelo k degradaci či vadám konstrukcí a materiálů. Tím se rozumí zvýšení tepelné vodivosti a narušení faktorů vnitřního mikroklimatu. Dovolená vlhkost závisí na nasákavosti materiálu. Pokud poměr vlhkosti materiálu k jeho maximální hodnotě překročí 70 %, jedná se o takzvanou kritickou vlhkost materiálu. V následující tabulce (tabulka 2) je pro běžné stavební materiály uvedena jejich přípustná vlhkost. Ta by neměla být překračována. V opačném případě se může snížit životnost materiálu. (Bláha a Bukovský 2004)

Tabulka 2: Nejvyšší přípustné hmotnostní vlhkosti podle typu zdiva

Druh zdiva	Přípustná vlhkost materiálu [% hmot.]
Pálená cihla plná	4-6
Cihel lehčená	3-8
Pórobeton	8-12
Cihla vápenocementová	3,5-5
Cihla betonová	3-4

Zdroj: (Bláha a Bukovský 2004) vlastní zpracování

3.7.3 Optimální vlhkost vnitřního vzduchu

Vlhkost vzduchu souvisí s teplotou okolního prostředí. Závisí na teplotě okolního vzduchu, kolik vlhkosti může vzduch přijmout. Vlhkost vzduchu se dělí na absolutní a relativní. Absolutní vlhkost vzduchu udává přesné množství vlhkosti obsažené ve vzduchu. Jednotkou pro absolutní vlhkost je gram vody na kilogram vzduchu ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Relativní vlhkost vzduchu je poměr mezi množstvím vodní páry ve vzduchu a množstvím par, které je vzduch schopen přijmout. Optimální relativní vlhkost vzduchu v obytných místnostech by se měla pohybovat v rozmezí 30 až 60 % při teplotě 20 až 24 °C. Při větší či menší vlhkosti vzduchu dochází k nepohodě, která může mít i závažné následky. (Pehle 2002)(Bláha a Bukovský 2004)(Flair A.s. 2015)

Nízká vlhkost vzduchu (suchý vzduch) může mít za následky zvýšený pocit únavy, svědění kůže, pálení očí či bolest hlavy. Může za to snaha suchého vzduchu přijímat vlhkost ze svého okolí i z osob. Proto je příhodné v zimních měsících sledovat vlhkost vzduchu v interiéru a případně ji navýšit například pomocí různých zvlhčovačů. (Minářová 2020)

Vysoká vlhkost vzduchu může mít za následky kondenzaci vodních par na chladném povrchu, jako jsou okna a prosklené venkovní dveře. Při opakované a dlouhodobé vysoké vlhkosti pak vznikají různé druhy plísní. U Lidí, kteří se dlouhodobě pohybují v prostorách napadených plísní dochází často ke zhoršením zdravotního stavu (bolesti hlavy a krku, dýchací potíže, bolesti zad a kloubů, nevolnost a nervové potíže). Příčiny vysoké vlhkosti mohou být tepelně technické nedostatky pláště, způsob užívání budovy, vady či poruchy nebo využití budov jinak, než bylo projektováno. (Mathausarová 2001)

Jeden z hlavních zdrojů vlhkosti v domě je sám člověk. Průměrný člověk pocením a dýcháním vyprodukuje asi 150 g vodní páry za hodinu. To je za jeden den 3,6 kg vody. Další činnosti, které produkují vlhkost jsou uvedeny v tabulce 3. (Bláha a Bukovský 2004)

Tabulka 3: Lidské činnosti jako zdroje vlhkosti

Zdroje relativní vlhkosti vzduchu	Množství produkované vodní páry [g.h ⁻¹]
Člověk-spánek	30-60
-středně těžká práce	120-200
-těžká práce	200-300
Koupelna	700-2600
Kuchyně-vaření	600-1500
Sušení prádla	50-500
Žehlení prádla	200-300
Bazény (1 m ² vodní plochy)	40-50
Rostliny	10-20

Zdroj: (Bláha a Bukovský 2004) vlastní zpracování

3.7.4 Teplota rosného bodu

Množství vlhkosti, kterou je vzduch schopen pojmout závisí na teplotě. Čím vyšší je teplota, tím vlhčí je i vzduch. Dobrý příklad z praxe je ranní rosa. V momentě, kdy začne ráno teplota stoupat, začne se rosa odpařovat, protože teplý vzduch ji přijme. Večer, když se vzduch ochladí, začne vodu znovu odevzdávat. Vytvoří se kondenzát, který padá na zem. Podle tohoto procesu je nazývána teplota rosného bodu. Ta nám udává hodnotu, na kterou musí být vzduch ochlazen, aby začal odevzdávat vodu. (Pehle 2002)

Ve stavebnictví způsobuje rosný bod komplikace u obvodových zdí. V zimních měsících, vlivem rozdílných teplot a tlaků mezi interiérem a exteriérem, vodní páry prostupují konstrukcí směrem ven ve snaze vyrovnat se tlaku vodních par ve venkovním prostředí. Čím nižší teplota v exteriéru je, tím větší je rozdíl tlaků a roste tedy i tendence vodní páry na prostup konstrukce. Jak vodní pára prostupuje konstrukcí, teplota směrem ven klesá. S poklesem teploty se snižuje i schopnost vzduchu udržet vodní páru v daném místě konstrukce. V určitém místě pak již teplota může klesnout tolik, že vlhkost začne kondenzovat z důvodu překročení rosného bodu. V jarních a letních měsících, když se venkovní teplota opět zvýší, zkondenzovaná vlhkost ve zdi se může opět začít odpařovat. V případě, že se vlhkost z konstrukce nevypaří nebo je příliš vysoká, může dojít k narušení nosnosti konstrukce, vznikají tepelné mosty a v interiéru se často začínají tvořit plísně. (Izolace-info.cz 2013)

Ochranou proti kondenzaci vodní páry v konstrukci může být zateplení směrem z exteriéru. Zateplení má za následek přesun kondenzační zóny (rosného bodu) směrem ven do tepelné izolace, kde již není zdivo ohroženo. (Izolace-info.cz 2013)

3.8 Alternativní zdroje tepla

Alternativní, nebo také obnovitelné, zdroje tepla jsou v dnešní době stále častější volbou. Mezi alternativní zdroje tepla patří například tepelná čerpadla, solární kolektory, kogenerační jednotky a bioplynové stanice. Jejich výhodou oproti klasickým zdrojům tepla, jako jsou kotle na uhlí nebo plyn, je minimální produkce škodlivin a emisí, které škodí životnímu prostředí. Díky dotačním programům Evropské unie a Ministerstva životního prostředí se stávají cenově dostupné. (Krejčík 2014)

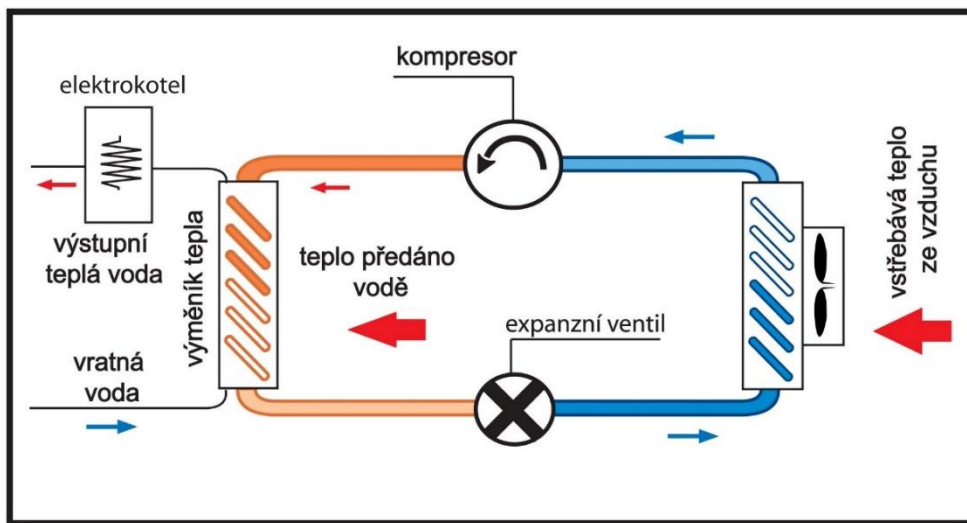
3.8.1 Tepelná čerpadla

V minulosti byly budovy posuzovány podle potřeby tepla na jejich vytápění a nebyla brána v potaz účinnost zdroje tepla. Při zjišťování úspor energie na vytápění budov je však důležitá skutečná spotřeba energie pro pokrytí tepelných ztrát a ohřevu přiváděného čerstvého vzduchu. Například tepelná čerpadla, která přispívají ke snížení celkové spotřeby energie na vytápění a ohřev teplé vody v objektu měli podle vyhlášky MPO č. 148/2007 Sb., zkreslené výsledky. Tím pádem i průkaz o energetické náročnosti budovy mohl obsahovat nepravdivé údaje. Až s vyhláškou MPO č. 177/2006 Sb. o energetické náročnosti budov se začalo posuzovat budovy podle skutečné spotřeby energie na jejich provoz. (Petrák a Petrák 2008)

Tepelná čerpadla jsou alternativním zdrojem energie, kterou získávají z okolního prostředí (vzduchu, země, vody). Používají se k přívodu teplého vzduchu do místnosti, nebo k ohřevu otopné vody. Je možné je použít jako náhradu za kotel ústředního topení. Tepelná čerpadla se skládají ze dvou částí, a to venkovní a vnitřní jednotky. Vnitřní část předává teplo do topného systému. Venkovní část odebírá teplo ze zvoleného zdroje. Zvolený zdroj ovlivňuje velikost venkovní jednotky a celkovou účinnost systému. (Viessmann s.r.o 2016)

Základním principem tepelného čerpadla je druhá věta termodynamická a tvrzení, že teplo se šíří vždy ve směru od teplejší ke studenější části. Princip tepelného čerpadla je podobný lednici, ta odebírá teplo potravinám v ní a vypouští jej do prostoru, který tím i vytápí. U tepelného čerpadla se získává teplo z okolního prostředí pomocí kapaliny (teplonosné médium). Ta proudí v kapalném stavu ke zdroji tepla. Zde se pomocí expanzního ventilu sníží tlak. Pokles tlaku způsobí, že se teplonosné médium začne vypařovat. Během vypařování odebírá teplo okolního prostředí. Poté se již médium v plynném stavu dopraví na místo, kde chceme teplo předat. Zde se pomocí kompresoru zvýší tlak, čímž se zvýší i teplota a médium začne kondenzovat. Po zkondenzování a předání tepla se médium dostane opět do výchozího stavu a celý proces se opakuje. (Viessmann s.r.o 2016)

Obrázek 2: Schéma tepelného čerpadla vzduch voda



Zdroj: (Revel s.r.o 2014)

3.8.2 Solární kolektory

Solární kolektory využívají k ohřevu teplotnosné kapaliny energie ze slunce. V praxi se využívá několik typů solárních kolektorů. (Viessmann 2017)

Pro velké výkony jsou vhodné takzvané zrcadlové kolektory. Ty zachycují a odrážejí sluneční záření do jednoho místa, kde se nachází potrubí, ve kterém protéká teplotnosná látka. Látka se v potrubí buď zahřívá a míří do akumulární nádrže odkud je rozváděna do objektu, nebo se odpaří a pohání parní turbínu, která generuje elektrickou energii. (Viessmann 2017)

Dalším typem jsou plastové absorberky. Ty jsou složeny jen z černé plastové hadice navinuté do spirály. Slouží pouze k ohřátí vody například v bazénech. (Viessmann 2017)

K podpoře vytápění slouží ploché a trubicové vakuové kolektory. Záření ze slunce zachycuje absorpční vrstva. Ta většinu paprsků pohlcuje a jen minimum odráží zpět do okolního prostoru. K absorpční vrstvě je přichyceno potrubí, ve kterém cirkuluje teplotnosná kapalina. Ta odebírá teplo z absorpční vrstvy a proudí do akumulární nádrže. Čerpadla pak teplotnosnou látku rozvádí po objektu. Obvykle se jako teplotnosná látka používá voda nebo nemrznoucí směs vody a propylenglykolu. Trubicové kolektory využívají vakuum pro lepší izolaci absorberky a teplotnosné kapaliny od okolního prostředí. Účinnost se tak zvyšuje. (Viessmann 2017)

Solární kolektory se využívají především jako doplnění ke zdroji tepla. Správně navrhované a realizované solární kolektory mohou ušetřit 40-75 % nákladů na vytápění a ohřev teplé vody, v závislosti na lokalitě a umístění kolektorů. Optimální orientace kolektorů je směrem k jihu ve sklonu 35°. (Viessmann 2017)(Bechník 2014)

4. Metodika

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. V první, rešeršní, části je přiblížen současný stav sledované problematiky. V první části je vysvětleno, jakou souvislost má téma práce s životním prostředím, proč je důležité se daným tématem zabývat, jak nás ovlivňuje vnitřní prostředí, jaké jsou možnosti při výběru materiálu pro zateplení domu a jaké jsou příčiny vzniku vlhkosti.

Na rešeršní část navazuje praktická. Předmětem bakalářské práce je rodinný dům. Pro tvorbu praktické části jsem nejprve zpracoval v programu AutoCAD výkresy půdorysu domu v měřítku 1:50. Pro každou bytovou jednotku je jeden výkres. Ve výkresech jsou popsány místnosti a u každé je uvedena navrhovaná výpočtová teplota. Výkresy jsou umístěny v příloze na konci práce.

Dále byl pomocí online kalkulátoru z internetové stránky TZB-info zjišťován rozdíl mezi součinitelem prostupu tepla obvodové zdi před zateplením a po něm. Do on-line kalkulátoru byly dosazeny jednotlivé stavební vrstvy a následně doplněny o tepelnou izolaci podle skutečného provedení. Kalkulátor vypočítal, jak velký rozdíl mezi konstrukcemi je. Zároveň vygeneroval grafy vývoje teplot pro každou variantu konstrukce.

Další kalkulátor byl použit pro výpočet měrné potřeby energie. Do tabulky byly zadány skladby pro každou konstrukci, součinitele prostupu tepla a následně přidána izolace (nový součinitel prostupu tepla). Rozdíl výsledných hodnot obou variant je úspora měrné potřeby energie. Výsledek je uveden v kWh.m².

V kapitole 5.6 Výpočet tepelných ztrát prostupem byly použity výsledky ze stejného on-line kalkulátoru jako pro výpočet měrné spotřeby energie. Výsledkem je porovnání tepelných ztrát prostupem před a po modernizaci domu. Výsledné tepelné ztráty jsou přiřazeny ke konstrukcím a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce. Pro lepší přehlednost je procentuální poměr ztrát každé konstrukce zobrazen i graficky.

Pro výpočet návratnosti investice do zateplení byly vypočítány náklady na vytápění a ohřev teplé vody před zateplením a po něm. Jako zdroj tepla je počítáno s tepelným čerpadlem. Návratnost investice je vypočítána pro původní stav domu, pro zateplený dům s finanční dotací a zateplený dům bez finanční dotace. Pro dobrou představu výsledky zobrazuje i graf návratnosti investic.

K porovnání zdrojů tepla byl použit srovnávací on-line kalkulátor. Porovnáván byl kotel na černé uhlí a tepelné čerpadlo. Hlavní nákladové položky byly náklady na vytápění, ohřev teplé vody, pořizovací investice a výdaje spojené s pravidelnou údržbou. Porovnání výsledných nákladů obou zdrojů tepla bylo znázorněno v grafu.

V poslední části vlastního řešení bylo pomocí měřících přístrojů ověřováno dodržování hygienických požadavků na vnitřní prostředí v domě. Přístroje potřebné pro měření zapůjčila technická fakulta. Měření probíhalo ve dnech 1.-3.12 2019.

Nejdříve byly rozmístěny senzory (obrázek 3) pro dlouhodobé měření teploty vzduchu, teploty rosného bodu a relativní vlhkosti vzduchu. Senzory zaznamenávaly údaje po dobu tří dnů každých patnáct minut. Rozmístění senzorů ukazují značky na obrázku 5. Každý senzor má vlastní paměť, ze které se naměřená data nahrála do počítače s zpracovala do tabulky.

Obrázek 3: Senzor pro dlouhodobé měření teploty, relativní vlhkosti vzduchu a teploty rosného bodu



Zdroj: vlastní foto

Další senzor zaznamenával aktuální teplotu a vlhkost. Toto měření proběhlo ve většině místností. Přístroj použitý pro měření (viz obrázek 4).

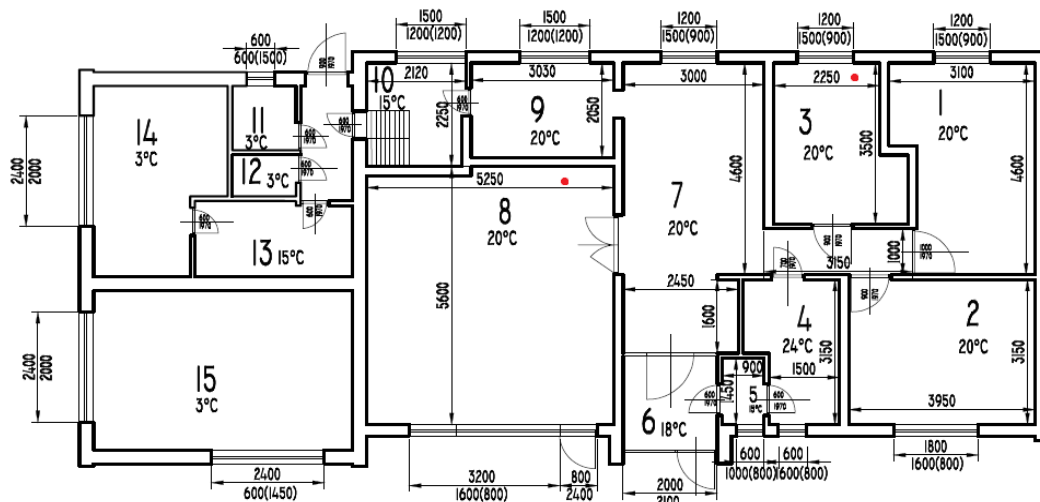
Obrázek 4: Snímač pro měření aktuální teploty a vlhkosti vzduchu



Zdroj: vlastní foto

Dále v místnosti studentský pokoj (obrázek 5, místnost 3), kde byl v minulosti problém s vlhkostí stěn a místy i plísní, byla měřena povrchová teplota a vlhkost všech stěn a stropu.

Obrázek 5: Půdorys 1.n.p. s vyznačenými místy dlouhodobého měření



Zdroj: vlastní zpracování

Měření proběhlo na několika místech v různých výškách od podlahy. Pro měření byla použita čidla viz obrázek 6 a obrázek 7.

Obrázek 6: Čidlo použité pro měření relativní vlhkosti stěn



Zdroj: vlastní foto

Obrázek 7: Čidlo pro měření povrchové teploty stěn



Zdroj: vlastní foto

Pro měření, zobrazování a ukládání dat byl použit univerzální ruční měřicí přístroj – datalogger Ahlborn. K tomuto přístroji se připojovaly potřebné měřicí snímače. Pouze senzory pro dlouhodobé měření se nemusely k přístroji připojovat, protože každý z nich má vlastní paměť, ze které se naměřená data nahrála do počítače. Naměřená data se z měřicího přístroje nahrála do počítače a po jejich rozřídění byla zpracována do tabulek, porovnána s doporučenými hodnotami a vyhodnocena.

Obrázek 8: Kombinovaný univerzální ruční měřicí přístroj ALMEMO 2690



Zdroj: vlastní foto

5. Vlastní řešení

5.1 Popis objektu

Vybraný objekt je rodinný dům, který se nachází v příměstské části města Tábora, Větrovech. Stavba domu byla zahájena v roce 1978 a dokončena byla v roce 1982. Dům sousedí z jedné strany s dalším domem, ze severu je park, z jihu pole a ze západní strany komunikace. Většina oken domu je situována na jih, proto je hlavně v letních měsících potřeba zastínění pomocí žaluzií.

Dům je dvoupodlažní a nacházejí se v něm dvě bytové jednotky. Hlavní bytová jednotka odpovídá dispozici 4+1 a je ve zvýšeném prvním podlaží. Druhá bytová jednotka je garsoniéra, která je umístěná v druhém nadzemním podlaží. Obě bytové jednotky mají vlastní vchod a jsou vybaveny svým samostatným sociálním zařízením. Dům je také částečně podsklepen a součástí objektu jsou dvě garáže.

Celý objekt prošel v roce 2008 celkovou rekonstrukcí. Nejdříve byla vyměněna okna. Stará dřevěná okna byla nahrazena novými s velmi nízkým součinitelem prostupu tepla. Na střeše se sklonem 45° byla vyměněna krytina. Původní vlnitý eternit nahradil bonnský šindel s tepelnou izolací polystyrenových EPS desek o tloušťce 100 mm. Svislé obvodové konstrukce jsou z plných cihel o tloušťce 400 mm. Vnitřní nosné zdi mají tloušťku 400 a 300 mm, příčky jsou silné 100 mm. Stropy jsou železobetonové, nad nadzemní garsonkou pak dřevěné trámové. Obvodové zdi byly zatepleny dodatečnou vrstvou polystyrenových desek EPS o tloušťce 160 mm. Na stropě pod půdou byly položeny EPS polystyrenové desky o tloušťce 200 mm. Fasáda je z tenkovrstvé silikonové omítky zrnité.

Vytápění objektu zajišťoval kotel na pevné palivo, který byl umístěn v suterénu. V roce 2017 byl kotel nahrazen tepelným čerpadlem fungujícím systémem vzduch-voda. Jako záložní zdroj tepla je k dispozici elektro kotel.

Klempířské výrobky jako parapetní plechy okapní svody a podokapní žlaby jsou vyrobeny z pozinkovaného materiálu.

Obrázek 9: Původní stav objektu (1999)



Zdroj: vlastní foto

Obrázek 10: Současný stav objektu (2019)



Zdroj: vlastní foto

5.2 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky jsou důležitým aspektem při výpočtu tepelných ztrát a při návrhu zateplení.

Dům se nachází v nadmořské výšce 525 metrů nad mořem. Lokalita je díky umístění obce na kopci velmi větrná. Venkovní výpočtová teplota je -15°C . Otopné období je 289 dnů. (TZB-info 2010)

5.3 Rozměry objektu a jednotlivých konstrukcí

Půdorysné rozměry: 20,6 x 8,8 m

Výška od úrovně terénu k hřebenu střechy: 6,52 m

Výška od úrovně terénu po římsu: 3,02 m

Celková zastavěná plocha: 181,28 m²

Vytápěná plocha: 160 m²

Celkový objem budovy: 864,7 m³

Vytápěný objem budovy: 481,3 m³

Plocha obvodových zdí: 170 m²

Střešní plocha: 268,63 m²

Plocha oken: 29,4 m²

Plocha vstupních dveří: 6 m²

Plocha stropu pod půdou: 118,8 m²

5.4 Součinitel prostupu tepla obvodové zdi

Konstrukce obvodové zdi měla před zateplením velmi špatné tepelně technické vlastnosti. Rozdílem těchto vlastností se zabývají následující kapitoly. Obvodové stěny domu jsou postaveny z pálených cihel stejných rozměrů. Není zde tedy potřeba počítat součinitel prostupu tepla pro jiné tloušťky zdí.

5.4.1 Výpočet obvodové zdi před zateplením

V tabulce 4 je znázorněna skladba jednotlivých vrstev včetně základních parametrů jako tloušťka vrstvy, součinitel tepelné vodivosti a tepelný odpor vrstvy. Vrstvy jsou vkládány směrem od interiéru do exteriéru. Do tabulky na stránce TZB-info byly dosazeny jednotlivé vrstvy a jejich tloušťky, program poté dopočítal součinitel tepelné vodivosti, tepelný odpor a součinitel prostupu tepla konstrukcí.

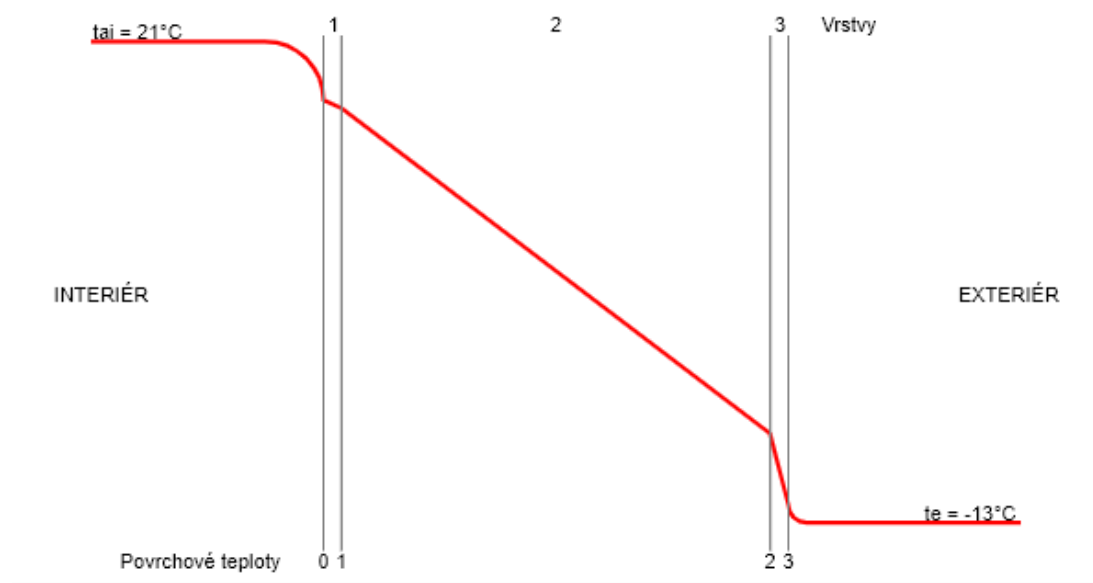
Tabulka 4: Tepelně technické vlastnosti obvodové zdi před zateplením

Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelný odpor vrstvy R [m ² .K.W ⁻¹]
Omítka vápenná	0,015	0,88	0,017
Pálená cihla 400 mm	0,400	0,51	0,784
Omítka perlitová	0,015	0,1	0,15

Zdroj: (TZB-info 2011b) vlastní zpracování

Podle současné normy ČSN 73 0540-2 z roku 2011 je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla konstrukcí $U_N=0,25 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. U této konstrukce před zateplením byla spočítána hodnota $U=0,96 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Obvodová zeď tedy nespĺňovala požadavky normy. Na obrázku 11 je znázorněn průběh teplot v konstrukci před zateplením.

Obrázek 11: Průběh teplot v konstrukci před zateplením



Zdroj: (TZB-info 2011b)

5.4.2 Výpočet obvodové zdi po zateplení

Pro zateplení obvodových zdí byly použity polystyrenové desky EPS 70 F o tloušťce 160 mm. Desky byly lepeny přímo na původní fasádu. K uchycení se dále použili kotvicí hmoždinky. Byl kladen důraz na zamezení vzniku tepelných mostů tak, aby spáry mezi deskami na sebe nenavazovaly. Finální povrchovou úpravu pak tvoří tenkovrstvá silikon silikátová omítka zrnitá.

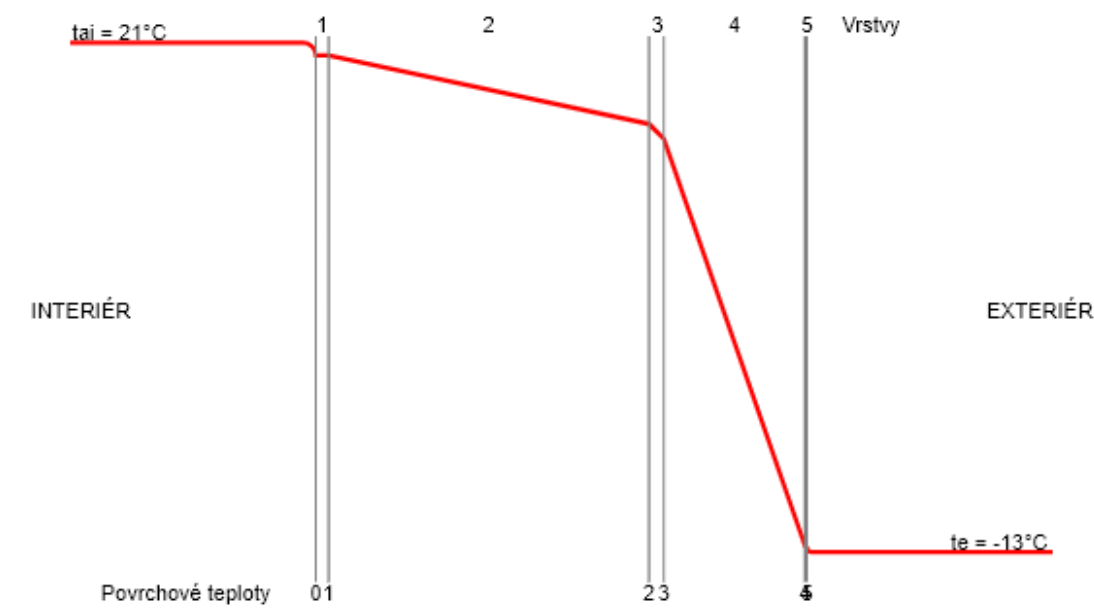
Tabulka 5: Tepelně technické vlastnosti obvodové zdi po zateplení

Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelný odpor vrstvy R [m ² .K.W ⁻¹]
Omítka vápenná	0,015	0,88	0,017
Pálená cihla 400 mm	0,4	0,51	0,784
Omítka perlitová	0,015	0,1	0,15
Polystyrenová deska EPS 70 F 160 mm	0,16	0,038	4,211
Silikon-silikátová omítka	0,0015	0,12	0,013

Zdroj: (TZB-info 2011b) vlastní zpracování

Součinitel prostupu tepla konstrukcí vyšel po zateplení $U_2=0,19$ W.m⁻².K⁻¹. Konstrukce po zateplení tedy splňuje požadavky normy ČSN 73 0540-2. Pro porovnání doporučená hodnota pro pasivní domy je stanovena na $U_{pas}=0,18-0,12$ W.m⁻².K⁻¹. Z toho vyplývá, že zvolená tloušťka izolace je dostačující. Na obrázku 12 je znázorněn průběh teplot v konstrukci po zateplení.

Obrázek 12 : průběh teplot v konstrukci po zateplení



Zdroj: (TZB-info 2011b)

Při porovnání schémat s průběhem teploty před a po zateplení je vidět posun poklesu teplot ze zdiva do izolace. S poklesem teplot se pravděpodobně posunula i teplota rosného bodu. To má za následek prodloužení životnosti konstrukce.

5.5 Výpočet rozdílu potřeby energie na vytápění

V následující tabulce (tabulka 6) jsou zobrazeny jednotlivé konstrukce, jejich plocha a tloušťka zateplení. Vstupní hodnoty byly dosazeny do on-line kalkulátoru Zelená úsporám z roku 2009 na stránce TZB-info.

Tabulka 6: Vstupní hodnoty pro on-line kalkulátor

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla před zateplením U [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Tloušťka zateplení d [mm] / nová okna U [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Plocha A [m ²]	Součinitel teplotní redukce b [-]		Měrná ztráta prostupem tepla HT = A. U. b [W.K ⁻¹]	
				Před úpravami	po úpravách	Před úpravami	po úpravách
Stěna	1,00	160 mm	172,00	1,00	1,00	172,0	34,4
Podlaha	0,25	0 mm	423,00	0,40	0,40	42,3	42,3
Střecha	2,20	50 mm	268,63	1,00	1,00	591,0	157,6
Strop pod půdou	1,40	200 mm	118,75	0,80	0,95	133,0	35,1
Okna	2,50	0,80	29,40	1,00	1,00	73,5	23,5
Vstupní dveře	3,50	1,20	6,00	1,00	1,00	21,0	7,2

Zdroj: (TZB-info 2009) vlastní zpracování

Výsledky jsou uvedeny v tabulce 7. Úspora roční potřeby energie na vytápění činí 69 %. Rozdíl v měrné potřebě energie mezi původním stavem a stavem po zateplení je 417,2 kWh.m⁻².

Tabulka 7: Roční potřeba energie na vytápění

Stav objektu	Měrná potřeba energie
Před úpravami (před zateplením)	601,2 kWh.m ⁻²
Po úpravách (po zateplení)	184 kWh.m ⁻²

Zdroj: (TZB-info 2009) vlastní zpracování

5.6 Výpočet tepelných ztrát prostupem

Tabulka 8: Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi před a po zateplení

Před zateplením		Po zateplení	
Konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]	Konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	6364	Obvodový plášť	1273
Podlaha	1565	Podlaha	1565
Střecha	26757	Střecha	7130
Okna, dveře	3497	Okna, dveře	1137
Tepelné mosty	3766	Tepelné mosty	753
Větrání	2572	Větrání	2572
Celkem	44521	Celkem	14430

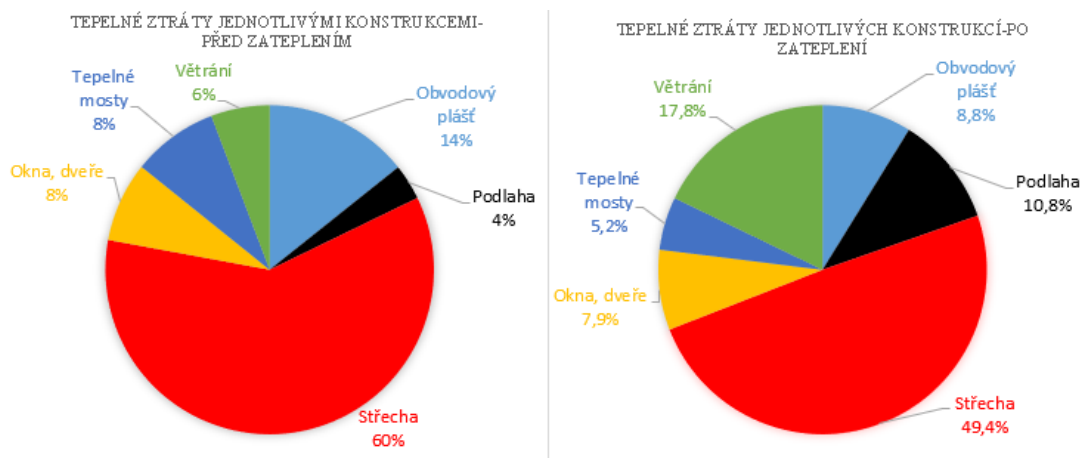
Zdroj: (TZB-info 2009) vlastní zpracování

Tabulka 9: Rozdíl celkových tepelných ztrát před a po zateplení

Stav objektu	Tepelná ztráta objektu
Před úpravami (před zateplením)	14,4 kW
Po úpravách (po zateplení)	44,5 kW

Zdroj: (TZB-info 2009) vlastní zpracování

Obrázek 13: Porovnání tepelných ztrát prostupem jednotlivými konstrukcemi před a po zateplení



Zdroj: (TZB-info 2009) vlastní zpracování

Z výsledných grafů je patrné, že největší tepelné úniky, byly před zateplením a jsou i po něm u střešní konstrukce. Střecha je tedy konstrukce, která má stále nedostatečné zateplení a v budoucnosti by zde mohly být provedeny další úpravy. Standartně má střešní konstrukce tepelné ztráty 25-30 % celého objektu (viz obrázek 1 v kapitole 3.2.1 Tepelné ztráty prostupem). Zateplení pomohlo snížit ztráty tepelnými mosty. Podlaha neprošla žádnou úpravou, proto se procentuální ztráty zvýšily. Izolací vzrostl požadavek na výměnu vzduchu větráním, proto jsou tepelné ztráty větráním větší.

5.7 Návratnost investice do zateplení

5.7.1 Náklady na zateplení

Tabulka 10: Náklady na zateplení konstrukcí domu

Konstrukce	Cena [Kč]
Střecha	195 000
Obvodová zeď	200 000
Okna a dveře	138 000

Zdroj: vlastní zpracování

Na zateplení obvodové zdi byla udělena dotace ve výši 100 000,-Kč z programu Evropské unie Zelená úsporám. Celkové náklady na zateplení jsou 533 000,-Kč bez dotace. Pokud se započítá udělená dotace, náklady se sníží na 433 000,-Kč.

5.7.2 Návratnost investice do zateplení

Pro lepší přehled návratnosti do zateplení je počítáno s tepelným čerpadlem, jako zdrojem tepla. Je tak možné porovnat spotřebu elektrické energie a finanční náročnost před zateplením a po zateplení.

Tabulka 11: Porovnání nákladů za vytápění a ohřev teplé vody

Stav objektu	Před zateplením	Po zateplení
Spotřeba elektrické energie [MWh]	21,5	9,5
Náklady za vytápění a ohřev TV [Kč.rok ⁻¹]	98 622	43 503

Zdroj: vlastní zpracování

Díky zateplení objektu se ročně uspoří na nákladech za vytápění a ohřev teplé vody 55 119,- Kč. Doba návratnosti investice do zateplení domu je 9,7 let. S využitím dotačního programu Zelená úsporám je návratnost 7,9 let.

5.8 Zdroj tepla

V rámci modernizace budovy se kromě celkového zateplení vyměnil také zdroj tepla. Kotel na pevná paliva, dřevo a černé uhlí, byl nahrazen tepelným čerpadlem se systémem vzduch voda. V následující kapitole jsou porovnány náklady na vytápění, náklady na ohřev teplé vody a počáteční investice včetně výdajů na pravidelnou údržbou pro oba zdroje tepla.

5.8.1 Porovnání zdrojů tepla

Hodnoty uvedené v tabulce 12 byly vypočítány pomocí kalkulátoru na stránce TZB-info. Na tepelné čerpadlo byla udělena dotace z programu Evropské unie kotlíková dotace. Celková dotace byla 135 000,- Kč. V tabulce 12 je proto počítáno s tepelným čerpadlem s dotací i bez ní. Pořizovací cena tepelného čerpadla byla 250 000,- Kč.

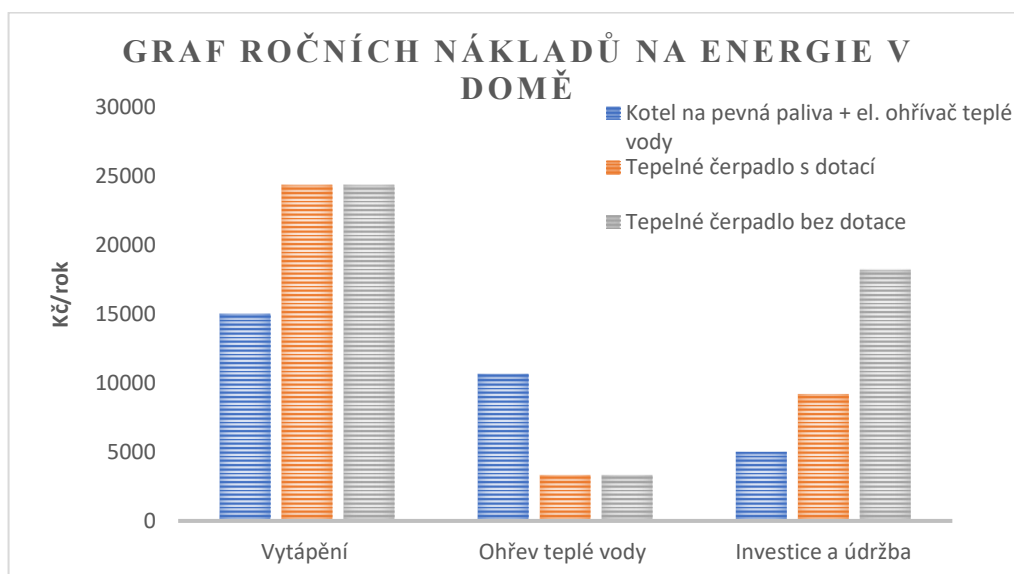
Tabulka 12: Porovnání nákladů mezi kotlem na pevná paliva a tepelným čerpadlem

Zdroj tepla	Vytápění [Kč.rok ⁻¹]	Ohřev teplé vody [Kč.rok ⁻¹]	Investice a údržba [Kč.rok ⁻¹]	Celkem [Kč.rok ⁻¹]
Kotel na pevná paliva + el. ohřívač teplé vody	15000	10630	5000	30630
Tepelné čerpadlo s dotací	24315	3312	9167	36794
Tepelné čerpadlo bez dotace	24315	3312	18167	45794

Zdroj: (TZB-info 2011a) vlastní zpracování

Hodnoty ve sloupci investice a údržba jsou vypočítány jako podíl pořizovací ceny a životnosti zdroje tepla. K tomu jsou připočítány náklady spojené s roční údržbou. Životnost je stanovena na 25 let. Z výsledků tabulky 12 je vidět, že nižší náklady za jeden rok by má stále kotel na pevná paliva. Může to být dáno i tím, že spotřebované dřevo bylo z vlastních zdrojů, a proto není započítáno v nákladech na vytápění. Jeho spotřeba ale nebyla velká, dřevo bylo využíváno především na zátop. Velkou výhodou tepelného čerpadla je jeho bezobslužnost. Další výhodou je ekologická čistota provozu a využívání obnovitelného zdroje.

Obrázek 144: Grafické porovnání ročních finančních nákladů za jeden rok



Zdroj: (TZB-info 2011a) vlastní zpracování

5.9 Měření vnitřních hygienických parametrů prostředí

5.9.1 Měření teploty a vlhkosti prostředí

Dne 1.12.2019 bylo provedeno měření vnitřních hygienických parametrů kvality prostředí. Pomocí vypůjčených přístrojů byla měřena vnitřní teplota vzduchu, relativní vnitřní vlhkost vzduchu, povrchová teplota a relativní vlhkost vnitřních stěn. Dále byly rozmístěny senzory pro dlouhodobé měření, které v průběhu tří dnů v intervalech 15 minut zaznamenávaly teplotu vzduchu, teplotu rosného bodu a relativní vlhkost vzduchu ve vybraných místnostech. Tři měřicí přístroje byly rozmístěny v interiéru a jeden v exteriéru. Cílem měření bylo zjistit, zda jsou dodržovány doporučené hodnoty pro vnitřní prostředí po modernizaci objektu.

Tabulka 13: Měření teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu ve vybraných místnostech (jednorázové měření)

Místnost	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]
Pokoj studentský	21,53	63,53
Ložnice	20,70	58,60
Pokoj	20,40	59,30
Koupelna	21,20	63,70
Jídelna	20,59	56,00
Kuchyně	21,00	51,60
Ložnice v patře	21,97	42,45
Schodiště	19,70	51,00

Zdroj: vlastní měření

Tabulka 14: Měření teploty, vlhkosti a rosného bodu (třídenní měření)

Místnost / prostor	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Teplota rosného bodu [°C]
Pokoj studentský			
Průměr naměřených hodnot	20,1	58,7	11,7
Minimální naměřená hodnota	19,7	47,7	8,3
Maximální naměřená hodnota	20,6	68,5	14,6
Medián naměřených hodnot	20,2	59,4	12,0
Ložnice v patře			
Průměr naměřených hodnot	21,3	44,3	8,7
Minimální naměřená hodnota	20,8	41,6	7,6
Maximální naměřená hodnota	22,0	49,9	11,0
Medián naměřených hodnot	21,4	44,2	8,7
Obývací pokoj			
Průměr naměřených hodnot	20,6	52,0	10,4
Minimální naměřená hodnota	19,8	37,8	8,2
Maximální naměřená hodnota	27,4	60,2	13,4
Medián naměřených hodnot	20,4	51,8	10,2
Venkovní teplota			
Průměr naměřených hodnot	0,2	81,4	-2,6
Minimální naměřená hodnota	-3,0	50,8	-4,8
Maximální naměřená hodnota	11,1	89,8	1,3
Medián naměřených hodnot	-0,1	82,7	-3,1

Zdroj: vlastní měření

Hodnoty v tabulce 13 byly naměřeny jednorázově. Měření v tabulce 14 probíhalo tři dny, kdy přístroje každých patnáct minut změřily aktuální teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a teplotu rosného bodu. Naměřené hodnoty se liší o cca 8 %. Tato odchylka může být způsobena odlišnou výškou měření, rozdílnou kalibrací přístroje nebo jinou chybou při měření.

5.9.2 Měření povrchové teploty zdí

Ve studentském pokoji, kde se v minulosti tvořili plísně, byla měřena povrchová teplota stěn. Měření bylo vykonáváno v různých výškách. Ve výšce 20 cm nad podlahou, v 1 m od podlahy, v 1,5 m od podlahy a těsně pod stropem. Dále byl měřen také strop samotný, nad kterým je nevytápěná půda.

Tabulka 15: Měření povrchové teploty zdí

Zed' do jídelny	[°C]	Zed' do ložnice		Strop	[°C]	Obvodová zed'	[°C]
Měření č.1	19,7	Měření č.1	19,7	Měření č.1	20,1	Měření č.1	19,9
Měření č.2	19,9	Měření č.2	19,2	Měření č.2	20,1	Měření č.2	21,4
Měření č.3	19,7	Měření č.3	19,9	Měření č.3	20,1	Měření č.3	18,8
Měření č.4	19,7	Měření č.4	20,3	Měření č.4	19,8	Měření č.4	19,3
Měření č.5	19,9	Měření č.5	19,7	Měření č.5	19,7	Měření č.5	19,2
Měření č.6	19,9	Měření č.6	20	Měření č.6	20	Měření č.6	18,7
Měření č.7	19,7	Měření č.7	20,3	Měření č.7	19,6	Měření č.7	19
Měření č.8	19,7	Měření č.8	18,8	Měření č.8	20,1	Měření č.8	18,7
Měření č.9	19,8	Měření č.9	19,7	Měření č.9	20,6	Měření č.9	18,8
Měření č.10	19,9	Měření č.10	20,3	Měření č.10	20,3	Měření č.10	18,9
Průměr	19,8	Průměr	19,8	Průměr	20	Průměr	19,3

Zdroj: vlastní měření

Podle očekávání se naměřená teplota zvyšuje s výškou měření. U měření obvodové zdi má dopad na naměřené hodnoty přítomnost okna. Okolo okna byly naměřeny nižší teploty. Tam, kde byla naměřena výrazně vyšší teplota (například měření obvodové zdi č.2), lze předpokládat přítomnost tepelného mostu. V tomto případě by před případnými nápravnými opatřeními bylo dobré použití termokamery pro ověření a určení přesné polohy tepelného mostu.

5.9.3 Měření relativní vlhkosti zdí

Ve stejném pokoji byla měřena také relativní vlhkost zdí. V této místnosti se před modernizací objektu objevovaly v rozích vlhká místa a plísně. V tabulce 1 v kapitole 3.7.2 Přípustná vlhkost stavebních konstrukcí je dána optimální vlhkost plných pálených cihel v rozmezí 4-6 %.

Tabulka 16: Měření relativní vlhkosti zdí

	Zed' do jídelny	Zed' do ložnice	Obvodová zed'	Strop
Relativní vlhkost zdi [%]	4,49	4,74	4,13	5,47

Výsledky měření ukazují, že vlhkost zdí v řešeném pokoji je v doporučených hodnotách.

6. Výsledky

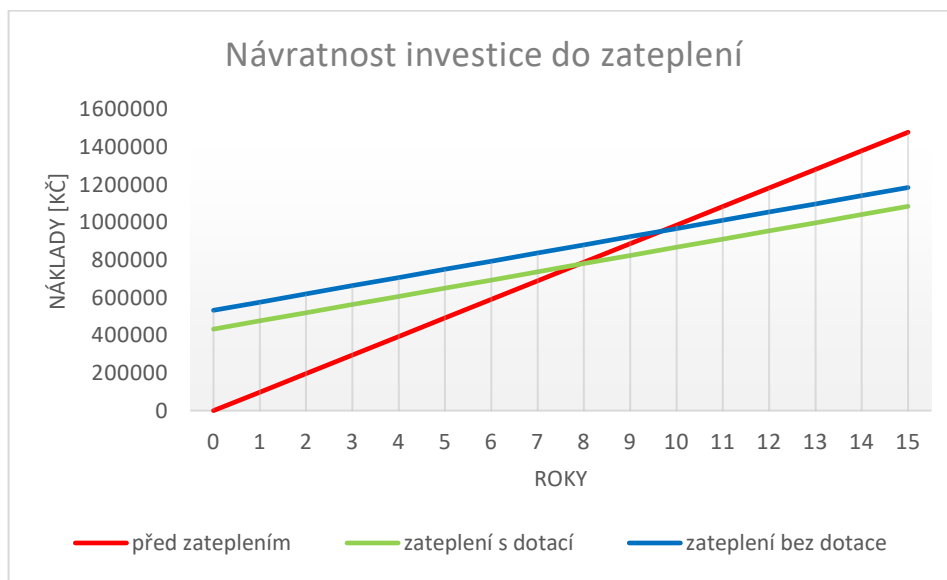
Dodatečně přidanou tepelnou izolací se součinitel prostupu tepla obvodovou zdí snížil z $U=0,96 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ na hodnotu $U=0,19 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Zároveň se změnil průběh teplot v konstrukci, kdy se rosný bod přesunul ze zdiva do izolace a prodloužila se tak životnost konstrukce.

Roční potřeba energie na vytápění se díky dodatečné izolaci snížila o 69 % viz tabulka 7 v kapitole 5.5 Výpočet rozdílu potřeby energie na vytápění.

Před modernizací byly tepelné ztráty objektu 44,5 kW. Po jeho zateplení se tepelné ztráty snížily na 14,4 kW. Tepelné ztráty prostupem se tedy vlivem zateplení snížily o 30,1 kW.

Vlivem dodatečné izolace se zvýšil požadavek na výměnu vzduchu větráním. Díky investici do zateplení se roční náklady, spojené s vytápěním a ohřevem teplé vody, snížily o 55 119,- Kč.rok⁻¹. Návratnost investice s využitím dotačního programu Zelená úsporám je 8 let. Bez udělené dotace by byla návratnost necelých 10 let.

Obrázek 15: Graf návratnosti investice do zateplení



Při porovnání zdrojů tepla bylo zjištěno, že náklady na provoz jsou i přes udělenou dotaci vyšší u tepelného čerpadla než u kotle na uhlí a to o 6 164,- Kč za jeden rok. Do nákladů je započítána vstupní investice, cena za palivo, spotřebovaná elektrická energie a údržba zařízení.

Pomocí měření bylo zjištěno, že zateplení mělo pozitivní efekt na vnitřní hygienické parametry prostředí. Měření dále zjistilo, že jsou v domě dodržovány doporučené hodnoty teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu. U obvodových zdí byla také naměřena relativní vlhkost, která odpovídá doporučeným hodnotám. Není tak snižována životnost konstrukce. Pouze ve studentském pokoji byla naměřena relativní vlhkost, která hraničí s doporučenými hodnotami 30–60 % při teplotách okolo 20 °C.

Tabulka 17: Průměrné hodnoty z obou měření pro místnost Studentský pokoj.

Místnost	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]	Teplota rosného bodu [°C]
Pokoj studentský			
Průměr naměřených hodnot	20,865	61,465	11,7

7. Diskuse

Ne všechny tepelné ztráty jsou špatné. Zamezením prostupu čerstvého vzduchu do interiéru se zvýšil požadavek na častější větrání. Pokud požadavek není splněn, mohou se dostavit problémy se zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu a nedostatkem čerstvého vzduchu v místnostech. Proto je podle mého názoru důležité volit okna tak, aby se úplně nezamezila infiltrace venkovního vzduchu. Případně využít vzduchotechnické jednotky.

Zateplení starších budov přináší mnoho pozitiv, proto je v dnešní době většina modernizovaných budov i zateplována, aby splňovala současné standarty. V budoucnu bude na nízkou tepelnou bilanci kladen stále větší důraz. Kromě zateplení by se běžnou mohla stát i rekuperace tepla. Nyní je bohužel pro většinu obyvatel finančně nedosažitelná. Pokud by stát nebo Evropská unie zavedly podobné dotace, jako na zateplení a výměnu neekologických topných zdrojů, mohla by se rekuperace stát výrazně dostupnější.

Dosažení tepelné pohody je složité na veřejných místech a všude, kde se setkává velké množství lidí. Optimální parametry prostředí jsou velice subjektivní, a proto je téměř nemožné uspokojit všechny uživatele. V tomto případě je důležité zaměřit se na spokojenost většiny a podle toho přizpůsobit prostředí. V domovech si pak každý může ideální podmínky vytvořit sám regulací topení, větráním, zastíněním a dalšími nástroji k regulaci vnitřní teploty vzduchu.

Většina odborníků se shoduje, že upřednostněním alternativních zdrojů tepla se zlepšují životní podmínky v lidských sídlech. Především čistota okolního vzduchu. Mohu to sledovat i v mé obci, kdy ještě před deseti lety měli všichni sousedé kotle na uhlí. V zimních měsících byl sníh pokryt černými sazemi a ulicí se nesl zápach kouře. V současnosti má většina sousedů tepelná čerpadla a tyto jevy jsou minulostí. Pořizovací ceny alternativních zdrojů tepla jsou díky dotacím nižší, i tak ale pro mnohé stále nedosažitelné. To může být důvodem, proč někteří lidé při výměně zdroje tepla dají přednost například automatickému kotli na pevná paliva. I mé výpočty ukázaly, že provozní náklady tepelného čerpadla jsou stále vyšší než pro kotel na černé uhlí. Velkou nevýhodou tepelných čerpadel může být výpadek elektřiny, z toho důvodu je dobré mít k dispozici záložní zdroj tepla. Vhodný by mohl být například krb na dřevo. Pro řešený rodinný dům by kvůli střeše situované na jih a žádnému zastínění, mohly být přínosné solární panely pro ohřev teplé vody, případně pro výrobu elektrické energie.

Mé výsledky návratnosti investice do zateplení jsou podobné výsledkům jiných prací na podobné téma. Práce, kde autoři počítají s budovou podobného stáří a velikosti mají dobu návratnosti s dotacemi i bez velmi podobnou. Lze se tedy domnívat, že výsledky jsou správné a investice do zateplení u takových domů má návratnost 7-10 let. Dle mého názoru je to investice velmi výhodná, protože kromě návratnosti s nízkým rizikem se v budově zlepšuje i kvalita života.

8. Závěr a přínos práce

Na konkrétním případě bylo ukázáno zhodnocení úspor energie v modernizovaných budovách pomocí dodatečného zateplení. Dle mého názoru je zateplení obvodových zdí u řešeného domu navrženo a provedeno kvalitně. Zdi mají dostatečně silnou vrstvu izolace a v objektu je proto konstantní teplota v horkých letních dnech i v zimních měsících. Výměna oken také pomohla k celkovému zlepšení tepelně technických vlastností objektu. U střešní konstrukce by bylo dobré v budoucnu provést dodatečné zateplení, jelikož tepelné úniky jsou zde o 15-20% větší, než je obvyklé. Díky zateplení se výrazně snížila energetická náročnost domu.

Využitím jiného tepelně izolačního materiálu, než polystyrenových EPS desek by se však snížila produkce CO₂, která vzniká při jeho výrobě. V současnosti je však polystyren nejčastěji využívaný materiál pro zateplení. S použitím jiného materiálu by pravděpodobně vzrostla celková cena modernizace a tím se i prodloužila návratnost investice.

S využitím dotačního programu Zelená úsporám je návratnost investice do zateplení domu necelých 8 let. Po této době by měla být roční úspora za energie na vytápění a ohřev teplé vody 55 119,- Kč.rok⁻¹. Kromě finanční úspory se výrazně zlepšila kvalita života v domě po celý rok.

Měření vnitřních hygienických parametrů prostředí ukázalo, že se pravděpodobně díky zateplení snížila relativní vlhkost vzduchu i stěn. Výsledkem je eliminace problémů s vlhkostí souvisejících, jako občasných plísní a vlhkých míst na omítce. Zateplení tedy kladně ovlivnilo zdraví obyvatel v domě a také délku životnosti stavebních konstrukcí. Ve Studentském pokoji, kde byla před zateplením relativní vlhkost vzduchu nejvyšší je po zateplení nižší. I nadále je však relativní vlhkost vzduchu hraniční s doporučenou hodnotou a je proto třeba situaci sledovat.

Nahrazením kotle tepelným čerpadlem se zastavila produkce spalin a škodlivin, které vznikají spalováním uhlí. Zlepšila se i tepelná bilance domu. Výrazně se zlepšil komfort bydlení díky bezobslužnosti tepelného čerpadla. Zamezilo se i kondenzaci vodních par na vnitřní straně oken v době, kdy neautomatický kotel vyhasl. Tepelné čerpadlo drží teplotu v domě stále konstantní. Náklady na vytápění a ohřev teplé vody po přechodu na tepelné čerpadlo vzrostly. I přesto je dle mého názoru tepelné čerpadlo vhodnějším zdrojem tepla. V budoucnu se předpokládá postupný nárůst cen fosilních paliv a je proto možné, že provoz tepelného čerpadla bude brzy výhodnější i po finanční stránce.

Pro větší přesnost výsledků tepelných ztrát by bylo vhodné použít ještě alespoň jeden jiný typ programu nebo kalkulátoru na jejich výpočet. Bohužel další takový kalkulátor byl po celou dobu psaní práce aktualizován a nebyl tak k dispozici. Pro výpočet tepelných ztrát domu byla použita takzvaná obálková metoda, která není tak přesná jako výpočet tepelných ztrát každé místnosti odděleně. Pro ještě přesnější výsledky by se mohla tato metoda použít.

Psaní této bakalářské práce bylo pro mě zajímavé, protože jsem se zabýval domem, ve kterém bydlím. Mohu tak sám posoudit kvalitu života před a po modernizaci domu. Díky této bakalářské práci jsem si doplnil znalosti v oboru, kterému bych se chtěl věnovat i v budoucím pracovním životě. Má práce může posloužit ostatním pro získání základního přehledu o této problematice.

Přehled literatury a použitých zdrojů

ADAMOVSKEÝ, Daniel, nedatováno. *Přirozené a hybridní větrání, principy návrhu* [online][cit. 2020-03-17]. Dostupné

z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tb2a/prednasky/125tb2a-02.pdf>

BECHNÍK, Bronislav, 2014. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů - TZB-info* [online] [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>

BLÁHA, Matin a BUKOVSKÝ Ladislav, 2004. *Prevence a odstraňování vlhkosti.*: ERA vydavatelství. ISBN 80-86517-48-9.

CASTILLA, María del Mar, José Domingo ÁLVAREZ, Francisco RODRÍGUEZ a Manuel BERENGUEL, 2014. *Comfort Control in Buildings*. ISBN 978-1-4471-6346-6.

CENTNEROVÁ, Lada, 2000. *Tepelná pohoda a nepohoda - TZB-info* [online] [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>

ČEPOVÁ, Irena, 2016. *Jaké jsou důvody zateplování?* [online] [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.stavebni-vzdelani.cz/duvody-zateplovani-domu/>

CHYTRE-BYDLENI.CZ, 2017. *Proč zateplit dům? Vybrali jsme 10 důvodů, proč zateplit dům* [online] [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <http://www.chytre-bydleni.cz/proc-zateplit-dum-vybrali-jsme-10-duvodu-proc-zateplit-dum>

DOLEŽÍLKOVÁ, Hana, 2010. *Kvalita vnějšího a vnitřního vzduchu - TZB-info* [online] [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/6486-kvalita-vnejsiho-a-vnitriho-vzduchu>

DUFKA, Jaroslav, 2005. *Větrání a klimatizace domů a bytů*. ISBN 80-247-1144-3.

FLAIR A.S., 2015. *Relativní vlhkost | Flair* [online] [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.flair.cz/relativni-vlhkost>

HENSEN CENTNEROVÁ, Hana, 2016. *Pohoda vnitřního prostředí anno 2016 | TOPIN* [online] [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/pohoda-vnitriho-prostredi-anno-2016-detail-1097>

IZOLACE-INFO.CZ, 2013. *Rosný bod a kondenzace vodních par ve zdivu | Izolace-info.cz* [online] [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/aktuality/9208-rosny-bod-a-kondenzace-vodnich-par-ve-zdivu-a.html#.Xlk0iahKjIU>

JANOUSEK, Pavel, 2005. *Snížení množství CO₂ ze stavebního fondu nad rámec Směrnice EU o energetické náročnosti budov* [online] [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/48/ECOFYSreportII_EPBD_CZ_0405_final.pdf

KREJČÍK, Adam, 2014. *Můj Dům | Alternativní zdroje tepla* [online] [cit. 2020-03-18]. Dostupné

z: https://www.mujdum.cz/rubriky/alternativy/alternativni-zdroje-tepla_155.html

MATHAUSEROVÁ, Zuzana, 2001. *Vnitřní prostředí budov*. ISBN 80-7293-023-0.

- MATHAUSEROVÁ, Zuzana, 2006. *Přirozené větrání, infiltrace a exfiltrace - TZB-info* [online] [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/3608-prirozene-vetrani-infiltrace-a-exfiltrace>
- MINÁŘOVÁ, Ivana, 2020. *relativní vlhkost vzduchu - Geniální dům* [online] [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.genialnidum.cz/co-je/relativni-vlhkost-vzduchu/>
- PEHLE, Tobias, 2002. *Vlhkost v domě: prevence a odstraňování*. Rebo Productions CZ, Čestlice. ISBN 80-7234-196-0.
- PETRÁK, Jiří a Miroslav PETRÁK, 2008. Vytápění, větrání, instalace. 3 [online]. 146–148. Doi:1210-1389
- REVEL S.R.O, 2014. *Princip tepelného čerpadla | REVEL* [online] [vid. 2020-03-05]. Dostupné z: <https://www.revel-pex.com/princip-tepelneho-cerpadla.html>
- RUBINA, Aleš a RUBINOVÁ Olga, 2005. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka - TZB-info* [online] [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/2650-vnitрни-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- SCOTTISH ENERGY GRANTS, 2016. *Free Cavity Wall Insulation Dumfries - Wall Insulation Grants Dumfries* [online] [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.scottishenergygrants.co.uk/free-insulation-dumfries/>
- ŠKOPEK, Jan, 2010. *Tepelná izolácia z technického konope | ASB.sk* [online] [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zateplenie/tepelna-izolacia-ztechnickeho-konope>
- STUDENÝ, Roman, 2018. *10 nejdůležitějších důvodů, proč zateplit dům | ZOFI fasády - Realizace zateplení, materiály a poradenství* [online] [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.zofi.cz/10-nejdulezitejsich-duvodu-proc-zateplit-dum>
- ŠUBRT, Roman, 1998. *Tepelné izolace domů a bytů*. ISBN ISBN 80-7169-566-1.
- ŠUBRT, Roman, 2017. *Přehledná energetická bilance budovy | Izolace-info.cz* [online] [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/tepelne-mosty/21206-prehledna-energeticka-bilance-budovy-a.html#.Xnu4xIhKjIU>
- SVOBODA, Aleš, 2009. *Tepelné izolace a jejich dopady na životní prostředí - TZB-info* [online] [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/5838-tepelne-izolace-a-jejich-dopady-na-zivotni-prostredi>
- TZB-INFO, 1994. *Produkce tepla a vodní páry od lidí - TZB-info* [online] [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/61-produkce-tepla-a-vodni-pary-od-lidi>
- TZB-INFO, 2009. *On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám* - TZB-info* [online] [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- TZB-INFO, 2010. *Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit - TZB-info* [online] [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- TZB-INFO, 2011a. *Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii*

- *TZB-info* - *TZB-info* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>

TZB-INFO, 2011b. *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci* - *TZB-info* [online] [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestruvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>

VIESSMANN, 2017. *Na jakém principu funguje solární kolektor* [online] [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/solarni-kolektor-princip.html>

VIESSMANN S.R.O, 2016. *Tepelná čerpadla | Viessmann Česká republika | Viessmann* [online] [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/tepelna-cerpadla.html>

Seznam použitých obrázků

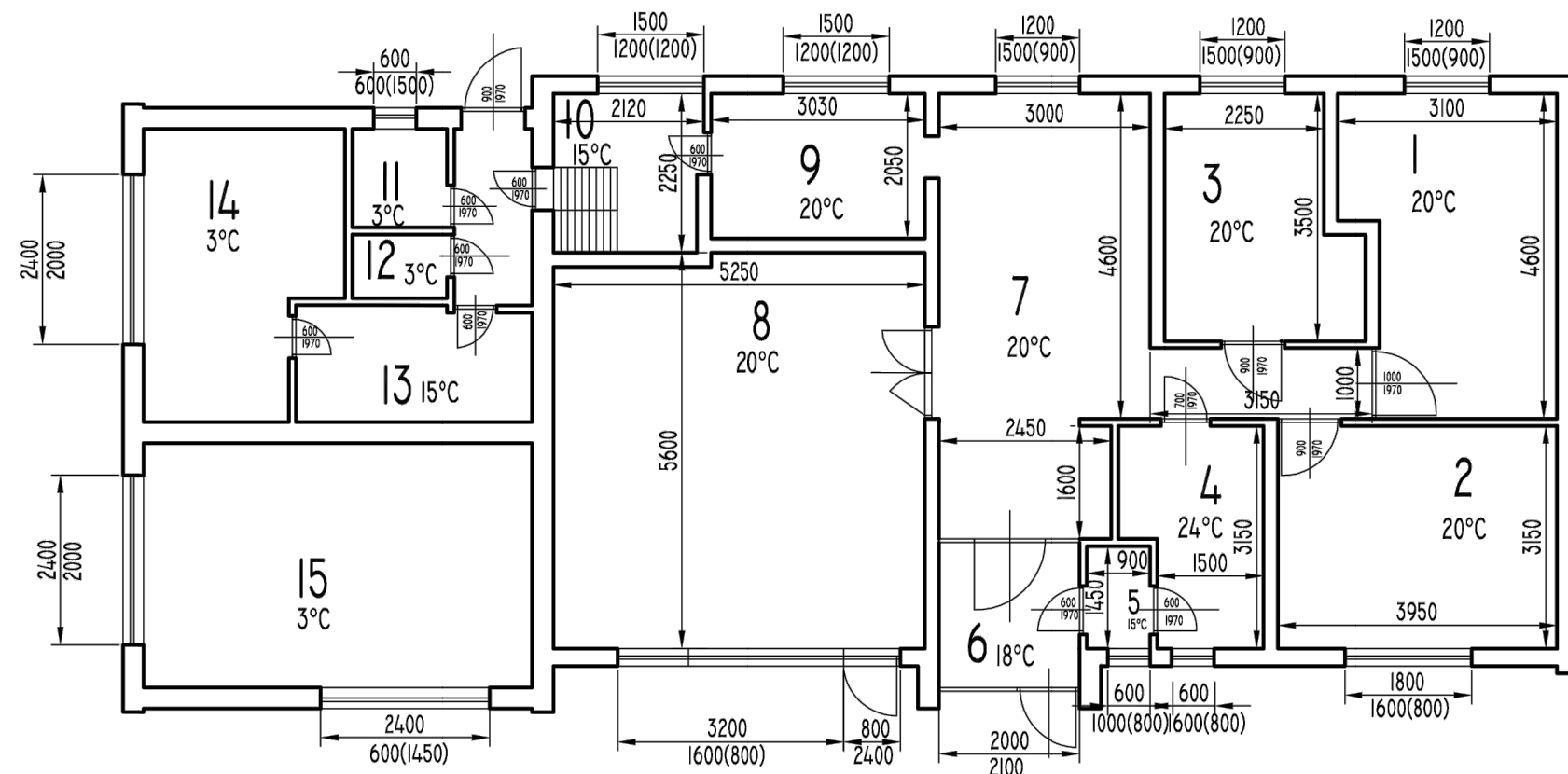
Obrázek 1: Procentuální rozložení tepelných ztrát rodinného domu	9
Obrázek 2: Schéma tepelného čerpadla vzduch voda	21
Obrázek 3: Senzor pro dlouhodobé měření teploty, relativní vlhkosti vzduchu a teploty rosného bodu	23
Obrázek 4: Snímač pro měření aktuální teploty a vlhkosti vzduchu.....	23
Obrázek 5: Půdorys 1.n.p. s vyznačenými místy dlouhodobého měření	24
Obrázek 6: Čidlo použité pro měření relativní vlhkosti stěn	24
Obrázek 7: Čidlo pro měření povrchové teploty stěn	25
Obrázek 8: Kombinovaný univerzální ruční měřicí přístroj ALMEMO 2690.....	25
Obrázek 9: Původní stav objektu (1999).....	27
Obrázek 10: Současný stav objektu (2019).....	27
Obrázek 11: Průběh teplot v konstrukci před zateplením	29
Obrázek 12 : průběh teplot v konstrukci po zateplení.....	30
Obrázek 13: Porovnání tepelných ztrát prostupem jednotlivými konstrukcemi před a po zateplení	32
Obrázek 144: Grafické porovnání ročních finančních nákladů za jeden rok	35

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Porovnání energetické náročnosti stavebních a izolačních materiálů.....	14
Tabulka 2: Nejvyšší přípustné hmotnostní vlhkosti podle typu zdiva	18
Tabulka 3: Lidské činnosti jako zdroje vlhkosti	19
Tabulka 4: Tepelně technické vlastnosti obvodové zdi před zateplením.....	29
Tabulka 5: Tepelně technické vlastnosti obvodové zdi po zateplení	30
Tabulka 6: Vstupní hodnoty pro on-line kalkulátor	31
Tabulka 7: Roční potřeba energie na vytápění.....	31
Tabulka 8: Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi před a po zateplení	32
Tabulka 9: Rozdíl celkových tepelných ztrát před a po zateplení.....	32
Tabulka 10: Náklady na zateplení konstrukcí domu.....	33
Tabulka 11: Porovnání nákladů za vytápění a ohřev teplé vody.....	33
Tabulka 12: Porovnání nákladů mezi kotlem na pevná paliva a tepelným čerpadlem	34
Tabulka 13: Měření teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu ve vybraných místnostech (jednorázové měření).....	35
Tabulka 14: Měření teploty, vlhkosti a rosného bodu (třídenní měření)	36
Tabulka 15: Měření povrchové teploty zdí	37
Tabulka 16: Měření relativní vlhkosti zdí	37
Tabulka 17: Průměrné hodnoty z obou měření pro místnost Studentský pokoj.	39

Přílohy

I. PATRO



Legenda místností

Pozice	Místnost
1	Ložnice
2	Pokoj
3	Studentský pokoj
4	Koupelna
5	Toaleta
6	Vstupní hala
7	Jídlna
8	Obývací pokoj
9	Kuchyně
10	Předsíň
11	Sklad
12	Spíž
13	Technická místnost
14	Dílna
15	Garáž

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí

Rodinný dům Větrovy
Zjednodušený stavební výkres - 1. NP

Školní rok:

Vypracoval:

2019/2020

Vojtěch Černý

Měřítko

1:100

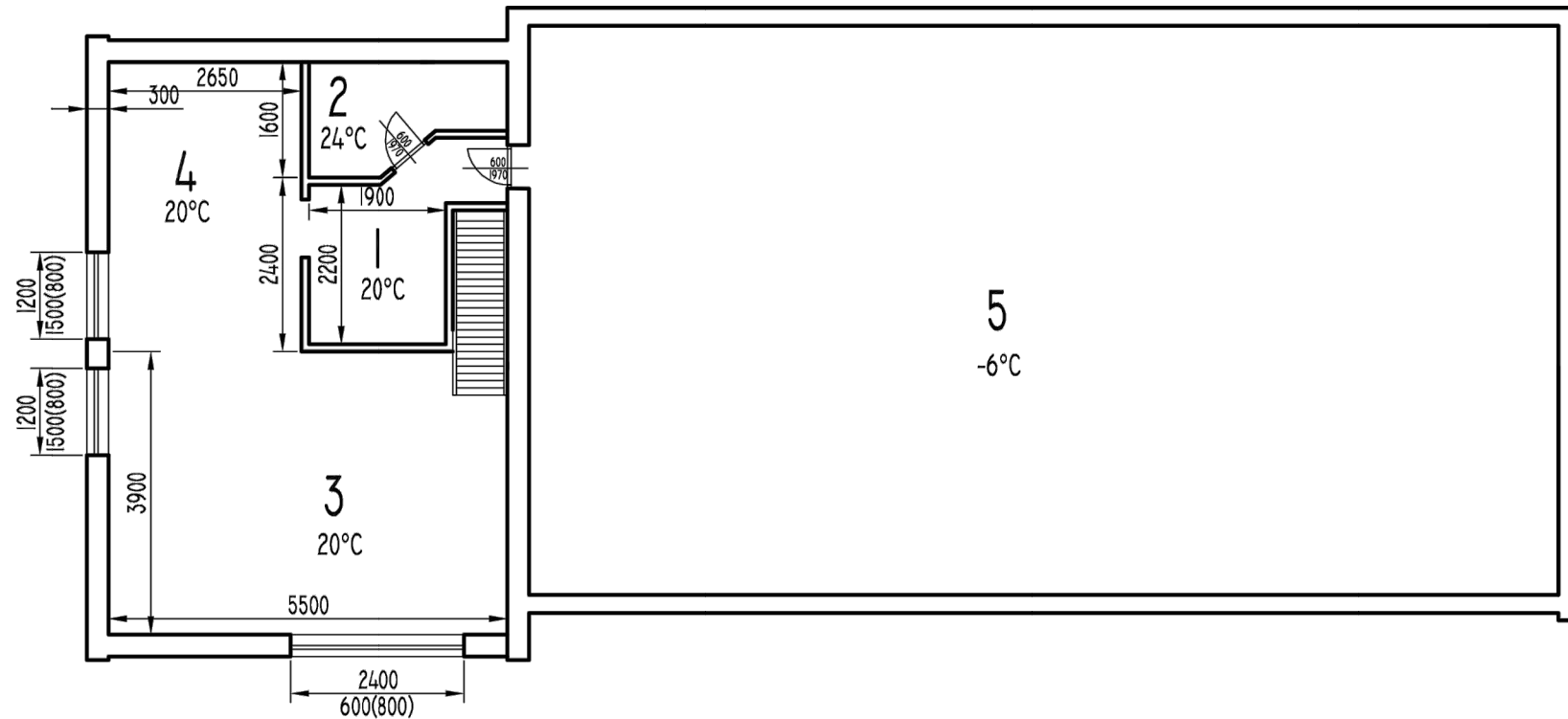
Formát

A3

Č. výkresu

1

2. PATRO



Legenda místností	
Pozice	Místnost
1	Vstupní hala
2	Koupelna
3	Obývací pokoj
4	Kuchyně
5	Nevytápěná půda
6	Vstupní hala

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí

Rodinný dům Větrovy
Zjednodušený stavební výkres - 2. NP

Měřítko

1:100

Školní rok:

Vypracoval:

Formát

A3

2019/2020

Vojtěch Černý

Č. výkresu

2