

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

**Vliv zateplení rodinného domu na stávající
otopnou soustavu**

Diplomová práce

Vedoucí práce: **prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.**

Autor práce: **Bc. Alice Hrabovská**

Praha 2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Alice Hrabovská

Procesní inženýrství
Technologická zařízení staveb

Název práce

Vliv zateplení rodinného domu na stávající otopnou soustavu

Název anglicky

Effect of thermal insulation of the house to the existing heating system

Cíle práce

Návrh zateplení rodinného domu, výpočet návrhové tepelné ztráty, tepelného výkonu zdroje a roční spotřeby tepla pro vytápění. Analýza vlivu zateplení domu na otopnou soustavu, variantní návrhy úpravy otopné soustavy (regulace soustavy, teplosměnné plochy, zdroj tepla) s ohledem na zateplení budovy. Vyjádření ekonomické efektivity zateplení domu a úprav otopné soustavy, při snížení spotřeby paliva (uhlí, zemního plyn).

Metodika

1. Struktura práce by se co nejvíce měla přiblížit schématu:

A. Úvod; B. Materiál a metody; C. Výsledky; D. Diskuse; E. Závěr

V práci lze slučovat diskusi a závěr.

2. Součástí diplomové práce bude sestavení literární rešerše mapující způsoby zateplování rodinných domů v ČR a zahraničí, vlivy zateplení na energetickou bilanci objektů a otopnou soustavu budovy. Rovněž budou analyzovány metody hodnocení efektů zateplení a související legislativa v ČR.

Diplomantka vypočte tepelnou bilanci (celkovou návrhovou tepelnou ztrátu, celkový návrhový tepelný výkon, roční spotřebu tepla pro vytápění) pro stávající stavební konstrukce vybraného rodinného domu. Navrhne zateplení rodinného domu a vypočte tepelnou bilanci. Analyzuje vliv zateplení na otopnou soustavu a navrhne variantní řešení úpravy otopné soustavy (regulace soustavy, teplosměnné plochy, zdroj tepla) s ohledem na zateplení budovy. Vyjádří ekonomickou efektivnost zateplení domu a úprav otopné soustavy, při snížení spotřeby paliva (uhlí, zemní plyn).

3. Práci je vhodné doplnit fotografiemi, schématy, grafy a tabulkami. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je i obsah, abstrakt, seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a literatury. Práce může být doplněna přílohami.

4. Při vypracování diplomové práce je nutno dbát na respektování citačních pravidel dle ČSN ISO 690:2011.

5. Vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu.

Doporučený rozsah práce

40-50 str.

Klíčová slova

tepelná izolace; vytápění; tepelná bilance; tepelný výkon; spotřeba tepla; ekonomická efektivnost.

Doporučené zdroje informací

- BAŠTA, Jiří, KABELE, Karel. Otopné soustavy teplovodní – sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. Společnost pro techniku prostředí, 2008, 96 s. ISBN 978-80-02-02064-6.
- ČSN EN 12828+A1 Tepelné soustavy v budovách – Navrhování teplovodních otopných soustav. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- ČSN EN 15316-1 Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 1: Obecné požadavky a vyjádření energetické náročnosti, Modul M3-1, M3-4, M3-9, M8-1, M8-4. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- ČSN EN 15316-2 Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 2 Části soustav pro sdílení (vytápění a chlazení), Modul M3-5, M4-5. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- ČSN EN 15316-3 Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 3 Části soustav pro rozvod (teplé vody, vytápění a chlazení), Modul M3-6, M4-6, M 8-6 Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- ČSN EN 15459-1 Energetická náročnost budov – Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách – Část 1: Výpočtové postupy, Modul 1-14. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- Firemní dokumentace a podklady – <http://www.tzb-info.cz>
- TZB Haustechnik. Vedecko-technický recenzovaný časopis z oblasti TZB a techniky prostředí. Bratislava: JAGA GROUP, s.r.o. ISSN 1210-356X.
- Vytápění, větrání, instalace. Odborný recenzovaný časopis. Praha: Společnost pro techniku prostředí, ISSN 1210-1389.
-

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 14. 06. 2020

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv zateplení rodinného domu na stávající otopnou soustavu vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle 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.

Jsem si vědoma, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědoma že, na moji bakalářskou práci 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.“

V Praze dne

.....

Bc. Alice Hrabovská

Poděkování:

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Radomírovi Adamovskému, DrSc., za ochotu, cenné rady a připomínky při zpracování této práce. Také chci poděkovat mé rodině za jejich pochopení a trpělivost.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je jednak literární rešerše mapující způsoby zateplování rodinných domů v ČR a zahraničí, vlivy zateplení na energetickou bilanci objektů a otopnou soustavu budovy. Dále analýza stávajícího stavu energetické náročnosti objektu vzhledem k jeho způsobu zateplení. Rovněž návrh nového zateplení tak, abychom snížili stávající spotřebu energie na vytápění a návrh úpravy otopné soustavy s ohledem na nižší potřebu energie. Závěrem bude zhodnocena ekonomická náročnost navržených úprav a posouzena návratnost investice.

Klíčová slova: tepelná izolace, vytápění, tepelná bilance, tepelný výkon, spotřeba tepla, ekonomická efektivnost.

Effect of thermal insulation of the house to the existing heating system**Summary:**

The aim of this diploma thesis is a literature search mapping the methods of insulation of houses in the Czech Republic and abroad, the effects of insulation on the energy balance of buildings and heating system of the building. Furthermore, the analysis of the current state of energy performance of the building with respect to its method of insulation. Also a proposal for new insulation to reduce the existing energy consumption for heating and a proposal to modify the heating system to take account of lower energy needs. Finally, the assessed economic aspects of the proposed modifications and assess return on investment.

Key words: heat insulation, heating, heat balance, heat output, heat consumption, economic efficiency.

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce	1
3. Energetická náročnost budov	2
3.1. Tepelná pohoda	4
3.1.1. Teplota a vlhkost vzduchu	4
3.1.2. Tepelné ztráty	5
4. Způsoby zateplování budov v ČR a zahraničí	5
4.1. Průběh teplot v konstrukci	5
4.1.1. Nezateplená konstrukce	6
4.1.2. Zateplení vnitřní	6
4.1.3. Zateplení vnější	7
4.2. Vnější zateplení	7
4.2.1. Kontaktní zateplovací systém (ETICS)	7
4.2.2. Provětrávané zateplovací systémy	8
4.2.3. Sendvičové zdivo a lehké prefabrikované pláště	9
4.2.4. Tepelně izolační omítka	10
4.3. Vnitřní zateplení	11
4.4. Druhy používaných materiálů pro tepelné izolace	12
5. Způsoby vytápění rodinných domů	20
5.1. Konvekční vytápění	20
5.2. Sálavé vytápění	21
5.3. Kombinace konvekčního a sálavého vytápění	22
5.4. Lokální vytápění	22
5.5. Porovnání jednotlivých vytápěcích soustav	23
5.6. Způsoby regulace	24
5.6.1. Regulace kotle	24
5.6.2. Regulace otopné soustavy	24
5.6.3. Využití tepelných zisků	25
6. Metodika práce	26
6.1. Základní údaje objektu	26
6.2. Klimatické podmínky	28
6.2.1. Vnější klima	28
6.2.2. Vnitřní klima	28

6.3.	Součinitel prostupu tepla	29
6.3.1.	Skladba vnějšího pláště budovy	30
6.3.2.	Skladba vnitřních příček.....	30
6.3.3.	Skladba podlahy nad terénem	31
6.3.4.	Skladba stropu nad 1.NP	32
6.3.5.	Skladba stropu nad 2.NP	33
6.3.6.	Plastová okna, balkónové a vchodové dveře.....	33
6.3.7.	Vnitřní dveře	34
6.3.8.	Skladba střechy	34
6.4.	Vyhodnocení součinitelů prostupu tepla stávajících konstrukcí.....	34
7.	Výsledky a diskuse	35
7.1.	Výpočet tepelných ztrát objektu	35
7.1.1.	Výpočet návrhové tepelné ztráty.....	35
7.1.2.	Výpočet návrhového tepelného výkonu pro vytápění.....	37
7.1.3.	Výpočet roční spotřeby tepla pro vytápění	39
7.2.	Návrh na snížení energetické náročnosti objektu	40
7.2.1.	Návrh nového zateplení obvodového pláště.....	40
7.2.2.	Návrh nové skladby podlahy nad terénem	43
7.2.3.	Návrh nové skladby stropu nad 2.NP.....	44
7.2.4.	Návrh zateplení střešní konstrukce	45
7.2.5.	Výměna oken a vstupních dveří.....	47
7.3.	Posouzení účinnosti snížení energetické náročnosti objektu	49
7.4.	Tepelné ztráty objektu po snížení energetické náročnosti	51
7.5.	Výpočet roční spotřeby tepla objektu po snížení energetické náročnosti.....	52
7.6.	Posouzení výměny zdroje vytápění	53
7.6.1.	Stávající způsob vytápění.....	53
7.6.2.	Návrh úpravy zdroje vytápění a otopné soustavy	54
7.7.	Další možnosti snížení spotřeby tepla v objektu	57
7.7.1.	Rekuperace tepla	57
7.7.2.	Solární systémy	58
7.8.	Náklady navržené investice a její návratnost.....	59
7.8.1.	Celkové náklady rekonstrukce	59
7.8.2.	Výpočet návratnosti investice	59
8.	Závěr.....	61
9.	Použitá literatura.....	62

10.	Seznam použitých norem.....	63
11.	Seznam obrázků.....	64
12.	Seznam grafů	65
13.	Seznam tabulek.....	65
14.	Přílohy	66

Seznam použitých zkratk a symbolů

U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m ² ·K/W]
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m ² ·K/W]
R_T	odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí)	[m ² ·K/W]
R	tepelný odpor konstrukce	[m ² ·K/W]
λ	součinitel tepelné vodivosti konstrukce	[W/(m·K)]
ρ	objemová hmotnost	[kg/m ³]
d	tloušťka vrstvy materiálu konstrukce	[m]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{T,k}$	tepelná ztráta prostupem stavební části (k)	[W]
Φ_{HL}	návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor	[W]
A_k	plocha stavební části (k)	[m ²]
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části (k)	[W/(m ² ·K)]
$f_{x,k}$	teplotní opravný činitel (k)	[-]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i)	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
θ_x	teplota sousedního prostoru nebo prostředí	[°C]
V_i	vnitřní objem vytápěného prostoru (i)	[m ³]
n_i	intenzita větrání vytápěného prostoru (i)	[h ⁻¹]
$\rho_a \cdot c_{p,a}$	součin hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu	[Wh/(m ³ ·K)]
$\Phi_{hu,i}$	dodatečný zátopový tepelný výkon	[W]
A_i	podlahová plocha místnosti (i)	[m ²]
$\varphi_{hu,i}$	měrný zátopový výkon místnosti (i)	[W/m ²]
$Q_{VYT,r}$	roční potřeba tepla	[kWh/rok]
Q_c	celková tepelná ztráta budovy	[W]

D	počet denostupňů dle vzorce:	[den·K]
d	počet dnů topného období	[-]
θ_{int}	vnitřní výpočtová teplota – vážený průměr	[°C]
$\theta_{int,s}$	průměrná teplota v prostředí budovy	[°C]
$\theta_{e,s}$	venkovní průměrná teplota v otopném období	[°C]
ε	opravný součinitel na snížení teploty, zkrácení doby vytápění, nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem	[-]
e_i	součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem	[-]
e_t	součinitel na snížení teploty v místnosti během noci či dne	[-]
e_d	součinitel pro provoz budovy s přestávkami	[-]
η_o	účinnost regulace soustavy	[-]
η_r	účinnost rozvodů vytápění	[-]
T_s	doba návratnosti investice	[rok]
IN	investovaný kapitál	[Kč]
CF	roční úspora nákladů	[Kč]

1. Úvod

Ceny paliv a energií v posledních několika letech výrazně zdražují a předpokládá se, že ceny porostou i v budoucnu. Z tohoto důvodu je snaha o snížení energetické náročnosti u všech nových i starých budov. U novostaveb je toho zajišťováno již ve fázi projektu, kde jsou analyzovány různé způsoby úspor vzhledem k požadavkům majitele, možnostem dané lokality a v součinnosti s aktuálními normami a legislativou. U stávajících starších budov je snížení energetické náročnosti dosahováno zejména dodatečným zateplením celého objektu a výměnou výplní otvorů. Často také bývají navrhovány nízkoenergetické způsoby vytápění, či alternativní zdroje jako jsou solární panely, tepelná čerpadla či rekuperace tepla.

2. Cíl práce

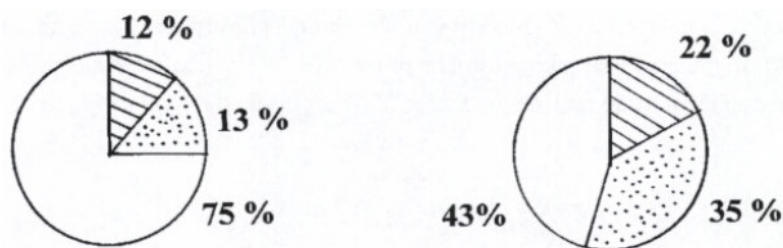
Cílem této diplomové práce je jednak analýza stávajícího stavu energetické náročnosti objektu vzhledem k jeho způsobu zateplení. Dále návrh nového zateplení tak, abychom snížili stávající spotřebu energie na vytápění a návrh úpravy otopné soustavy s ohledem na nižší potřebu energie. Závěrem bude zhodnocena ekonomická náročnost navržených úprav a posouzena návratnost této investice.

3. Energetická náročnost budov

V každém domě či bytě tvoří největší část spotřebované energie teplo, zejména množství tepla potřebné pro vytápění. Druhá největší spotřeba energie bývá pro ohřev teplé užitkové vody. Dále je potřeba energie na osvětlení a provoz spotřebičů a ve většině moderních objektech také na větrání a chlazení (Dufka, 2007) (Počinková, 2008).

Starý rodinný dům, či špatně izolovaný objekt (obr. 1a.) spotřebuje na vytápění přibližně 75 % z celkového množství spotřebované energie. Pro ohřev vody využije asi 13 % a ostatní spotřebiče činí 12 %. Provedením dodatečného zateplení budovy a případného dalšího opatření, jako například výměna výplní otvorů či úprava otopné soustavy (obr. 1b.), se přesune spotřeba energie z vytápění do ohřevu vody 35 % a na další spotřebu energie v domě 22 %. Potřeba tepelné energie pro vytápění klesla na 43 %. Zateplením objektu dojde k celkovému snížení energetické náročnosti budovy a s tím související snížení provozních nákladů (Dufka, 2007).

Obr. 1 Schéma spotřeby energie v rodinném domě



a. Objekt s velkou tepelnou ztrátou;

b. Objekt s malou tepelnou ztrátou

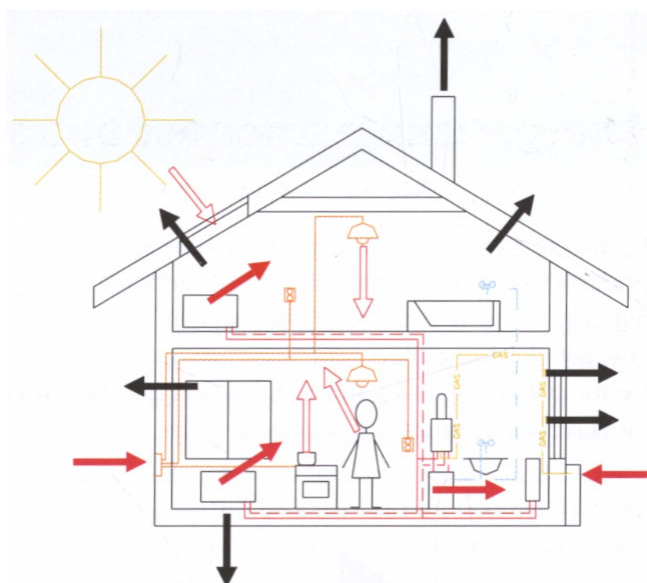
Zdroj: (Dufka, 2007)

Množství spotřebované energie v domě se vyjadřuje v GJ/rok a je závislé na tepelných ztrátách objektu. Pro kvalitně izolovaný dům se tato hodnota pohybuje od 70–80 GJ/rok. U špatně izolovaného objektu může být spotřebovaná energie až 130 GJ. Při návrhu novostavby jsou tak analyzovány potencionální tepelné ztráty, které je nutné minimalizovat, ale také tepelné zisky od vnitřních zdrojů a slunečního záření. Na obr. 2 jsou znázorněny tepelné ztráty i tepelné zisky v rodinném domě (Dufka, 2007) (Počinková, 2008).

Při výstavbě nové budovy, při změně dokončené budovy a také během prodeje či pronájmu nemovitosti je požadováno hodnocení energetické náročnosti budovy současně s vypracováním PENB, neboli průkazu energetické náročnosti budov (Energetická náročnost budov).

Požadavky na energetickou náročnost budov jsou stanoveny ve vyhlášce č. 264/2020 Sb, Tato vyhláška udává ukazatele energetické náročnosti, které jsou porovnávány s referenční budovou a vyhodnoceny v PENB.

Obr. 2 Energetická potřeba objektu



Legenda: černé šipky – tepelné ztráty; červené šipky – tepelné přírůstky

Zdroj: (Počinková, 2008)

Referenční budovou se rozumí „výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy“ (Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov, 2020).

Ukazatele energetické náročnosti objektu jsou stanoveny výpočtem na základě projektové dokumentace. Porovnávané ukazatele jsou následující:

- a) „primární energie z neobnovitelných zdrojů energie vztažená na metr čtvereční energeticky vztažené plochy,
- b) celková dodaná energie za rok vztažená na metr čtvereční energeticky vztažené plochy,
- c) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení vnitřního prostoru budovy za rok vztažené na metr čtvereční energeticky vztažené plochy,
- d) průměrný součinitel prostupu tepla,
- e) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- f) účinnost technických systémů“ (Vyhláška č. 264/2020 Sb.).

Na základě výše uvedených hodnotících ukazatelů je vystaven průkaz energetické náročnosti budovy (PENB), který zařadí objekt do klasifikační třídy dle potřeby energie u neobnovitelných zdrojů v jednotkách kWh/(m². rok) (příloha 1).

3.1. Tepelná pohoda

Tepelná pohoda je stav prostředí z hlediska tepla, který je pro člověka příjemný. Tepelný komfort je subjektivně podmíněný proces, který by měl zajišťovat tepelnou rovnováhu při ideálních hodnotách fyziologických parametrů lidského těla. Při tepelné pohodě se lidem lépe a efektivněji pracuje a také dobře relaxuje, přičemž v různých místnostech a v různou denní dobu je vhodná jiná teplota (Dufka, 2004) (Kabele, 2018).

Tepelná pohoda nevyjadřuje pouze teplotu vzduchu, ale také jeho vlhkost odpovídající dané teplotě. Je nutné také zajistit přívod čerstvého vzduchu, při jehož proudění nesmí docházet k průvanu a víření prachu. Pro zajištění tepelné pohody musí být výše uvedené parametry (teplota, vlhkost, rychlost proudění) v určitých mezích (Dufka, 2004).

3.1.1. Teplota a vlhkost vzduchu

Teplota vzduchu je důležitým parametrem pro zachování pocitu tepelné pohody. Normy ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831-1 nám udávají doporučené teploty v jednotlivých místnostech dle jejich účelu. V tab. 1 je výňatek z výše uvedené normy týkající se obytných budov. Obecně platí, že zvýšením teploty vnitřního vzduchu o 1 °C se zvýší spotřeba nákladů na vytápění až o 6 % (Dufka, 2004).

Tab. 1 Vnitřní výpočtové teploty a relativní vlhkost vzduchu pro obytné budovy

Druh vytápěné místnosti	Výpočtová vnitřní teplota t_i (°C)	Relativní vlhkost vzduchu φ_{ai} (%)
1 Obytné budovy		
1.1 trvale užívané		
obývací místnosti, tj. obývací pokoje, ložnice, jídelny, jídelny s kuchyňským koutem, pracovní, dětské pokoje	20	60
kuchyně	20	60
koupelny	24	90
klozety	20	60
vytápěné vedlejší místnosti (předsín, chodby, aj.)	15	60
vytápěná schodiště	10	60

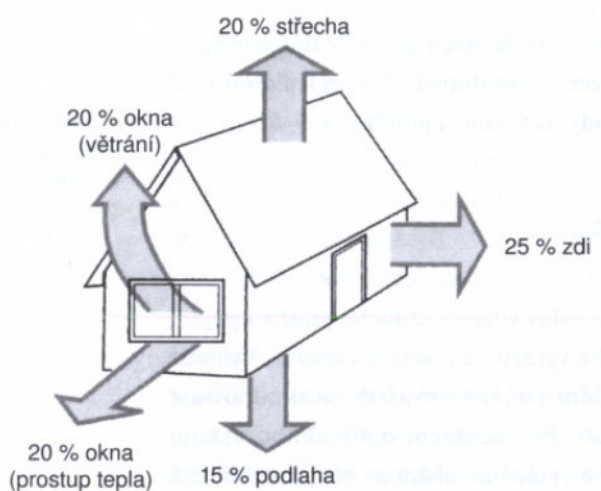
Zdroj: ČSN 06 0210

Pro optimální obsah vody ve vzduchu platí, že čím je vzduch teplejší, tím by měl mít větší vlhkost. V letním období by se vlhkost vzduchu měla pohybovat v rozmezí 40–60 % a v zimním období okolo 20–40 %. Regulaci vlhkosti můžeme zajistit klimatizačním zařízením neboli zvlhčovačem či odvlhčovačem vzduchu (Dufka, 2004).

3.1.2. Tepelné ztráty

Tepelné ztráty objektu snižují efektivitu vytápění, a naopak zvyšují náklady na palivo. Pro úsporu provozních nákladů je tedy nutné provést několik opatření, které nám zajistí menší úniky tepla z objektu. Na schématu obr. 3 jsou znázorněny procentuální tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi. Teplo uniká po celém obvodu objektu, je tedy nutné izolovat nejen obvodovou konstrukci, ale také střechu, podlahy a výplně otvorů. Největší tepelné ztráty bývají u obvodových stěn, prvním opatřením by tedy mělo být provedení dostatečného zateplovacího systému (Dufka, 2004).

Obr. 3 Rozložení tepelných ztrát vytápěné budovy



Zdroj: (Dufka, 2004)

4. Způsoby zateplování budov v ČR a zahraničí

Základní typy zateplování budov se dělí na kontaktní zateplení a provětrávané zateplení se vzduchovou mezerou. Oba tyto typy mohou být použity jak pro venkovní, tak i vnitřní zateplení (Srdečný, 2004).

4.1. Průběh teplot v konstrukci

Průběh teplot v konstrukci (obr. 4) se mění v závislosti na venkovní teplotě a jejím způsobu zateplení. Během volby zateplení je nutné posoudit umístění tepelné izolace, která může být provedena z vnitřní i vnější strany konstrukce. Oba způsoby zateplení mají své výhody i nevýhody, avšak obvykle se upřednostňuje zateplení z vnější strany (O vnitřním zateplení, 2001) (Přednosti vnitřního a venkovního zateplení, 2004).

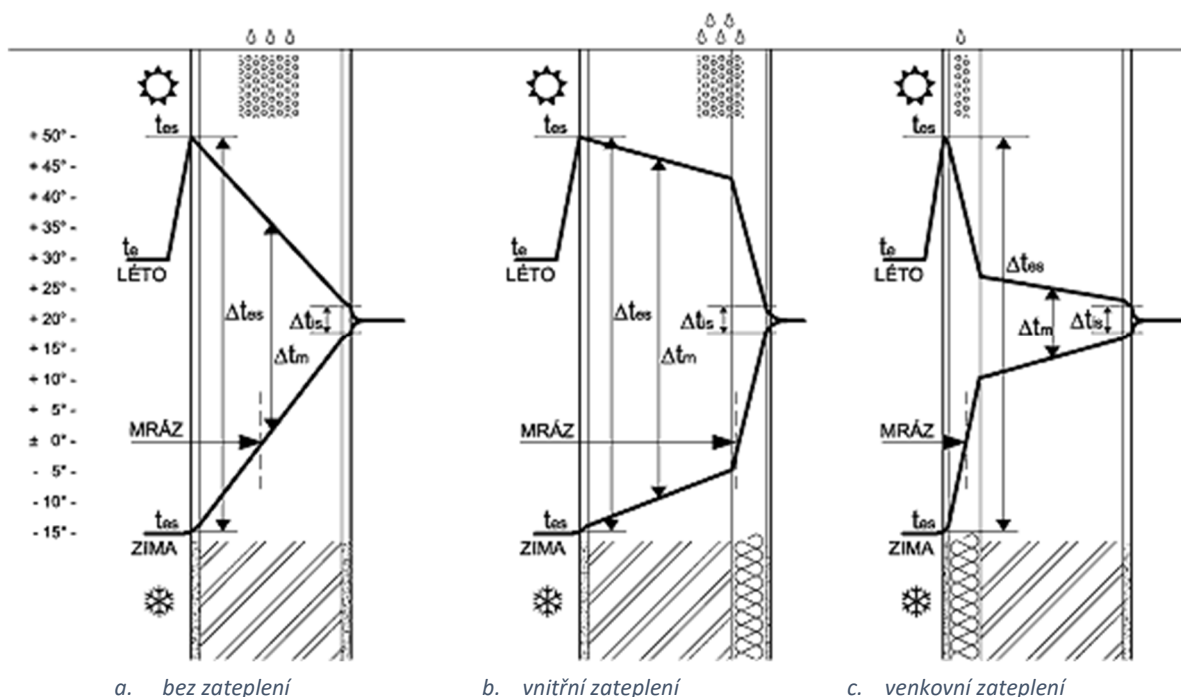
4.1.1. Nezateplená konstrukce

Teplota na vnějším povrchu nezateplené konstrukce (obr. 4a.) se v zimním období pohybuje okolo $-12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Směrem dovnitř se teplota postupně zvyšuje, přičemž hodnota $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ je přibližně uprostřed obvodové stěny. Z toho vyplývá, že vnější část stěny v zimním období promrzá a v letním období se naopak přehřívá. Tyto velké teplotní rozdíly současně s vlhkostí negativně ovlivňují mikroklima uvnitř budovy a zároveň znehodnocují a výrazně snižují životnost obvodové konstrukce (Přednosti vnitřního a venkovního zateplení, 2004).

4.1.2. Zateplení vnitřní

V případě zateplení konstrukce z vnitřní strany (obr. 4b.) je teplota $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ posunuta do hmoty vnitřní tepelné izolace. Obvodová stěna je tak vystavována diferenci teplot v zimním a letním období až 70 K . Prostřednictvím tepelných mostů se tyto extrémní teplotní rozdíly přenášejí na vnitřní povrch podél obvodu zateplení. V těchto místech dojde v zimním období ke snížení teploty povrchu až pod teplotu rosného bodu, to způsobí kondenzaci vodních pár, které mají za následek vznik a bujení plísní. Vysoké nároky na obvodovou konstrukci a riziko spojené s kondenzací vodních par mají za následek snížení její životnosti (Přednosti vnitřního a venkovního zateplení, 2004) (O vnitřním zateplení, 2001).

Obr. 4 Průběh teplot v obvodové konstrukci



Zdroj: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/540-o-vnitrim-zatepeni>

4.1.3. Zateplení vnější

Zateplení z vnější strany (obr. 4c.) nám zajistí ochranu obvodové konstrukce před teplotními výkyvy. V zimním období stěna nepromrzá a v letním období se nepřehřívá. Teplota 0 °C je zachycena v hmotě tepelné izolace a s prostupem stěnou se její hodnota zvyšuje. Vnitřní povrchová teplota obvodové stěny a na ní navazujících konstrukcí je mnohem příznivější. Z těchto důvodů je zateplení konstrukce z vnější strany nejpoužívanější způsob (O vnitřním zateplení, 2001).

4.2. Vnější zateplení

Pro velkou většinu budov je nejvhodnější venkovní zateplení, jelikož prodlužuje životnost celé stavby. Venkovní zateplení chrání budovu v zimním období před mrazem a v letním období před slunečním zářením, tím nám klesá namáhání způsobené dilatací materiálů (Srdečný, 2004).

Výhody vnějšího zateplení:

- Zdivo je v menší míře namáháno výkyvy teplot a povětrnostních podmínek.
- Lepší akumulační schopnost objektu.
- Eliminace tepelných mostů v konstrukci (stropy, překlady oken, věnce, aj.).
- Eliminace rizika kondenzace vlhkosti v konstrukci.
- Nová fasáda zajistí úspory nákladů na údržbu.
- Při montáži není narušen pobyt osob uvnitř budovy.

Nevýhody vnějšího zateplení:

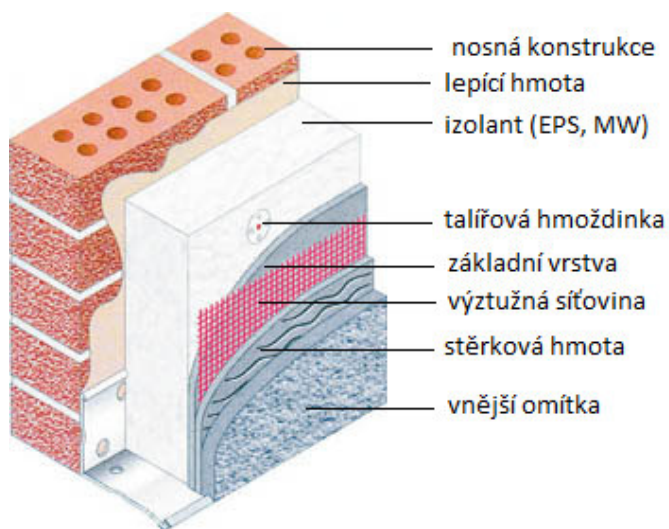
- Rozšíření vnějšího obrysu objektu.
- Nutnost provádět izolace najednou v celé ploše stěny.
- Potřeba pronájmu lešení.
- Vyšší náklady (Srdečný, 2004).

4.2.1. Kontaktní zateplovací systém (ETICS)

Kontaktní zateplovací systém ETICS z anglického External Thermal Isulation Composite System je jeden z nepoužívanějších způsobů zateplování budov u nás v České republice. Tento systém tvoří ucelené souvrství skládající se z jednotlivých vrstev materiálů tak, jak je znázorněno na obr. 5 (Velfel, 2010).

Postup zateplovacího systému ETICS je následující: tepelně izolační desky jsou nalepeny lepicí hmotou na nosnou konstrukci a ukotveny hmoždinkami. Následně je na tepelnou izolaci provedena základní vrstva lepidla, do které je vtlačena armovací tkanina. Nakonec je lepidlo natřeno penetračním nátěrem a je provedena finální povrchová úprava, nejčastěji omítka (Šubrt, 2008).

Obr. 5 Skladba kontaktního systému ETICS



Zdroj: <https://www.rebustav.cz/zateplovani-budov.htm>

Pro omezení vzniku nejrůznějších vad kontaktního zateplovacího systému, jako jsou například trhliny a tím tak zajištění prodloužení životnosti fasády, je nezbytné, aby jednotlivé prvky skladby tvořily navzájem systém se zaručenými parametry. Při výběru konstrukčního systému je proto vhodné volit certifikovanou skladbu od jednoho výrobce. Kombinovat různé materiály od různých dodavatelů za účelem úspory nákladů se ve výsledku nevyplácí, jelikož časem vznikají náklady na opravy (Srdečný, 2004) (Velfel, 2010).

4.2.2. Provětrávané zateplovací systémy

Provětrávaný zateplovací systém spočívá ve skladbě vnějšího pláště s odvětrávanou vzduchovou mezerou, která se nachází mezi tepelnou izolací a vnější vrstvou fasády. Této skladby se často využívá u staveb, kde jsou problémy s vlhkostí stěn. Při použití tepelné izolace s malým difúzním odporem, projde vlhkost skrz stěnu až do vzduchové mezery, která přebytečnou vlhkost odvede z objektu do venkovního prostředí (Šubrt, 2008) (Srdečný, 2004).

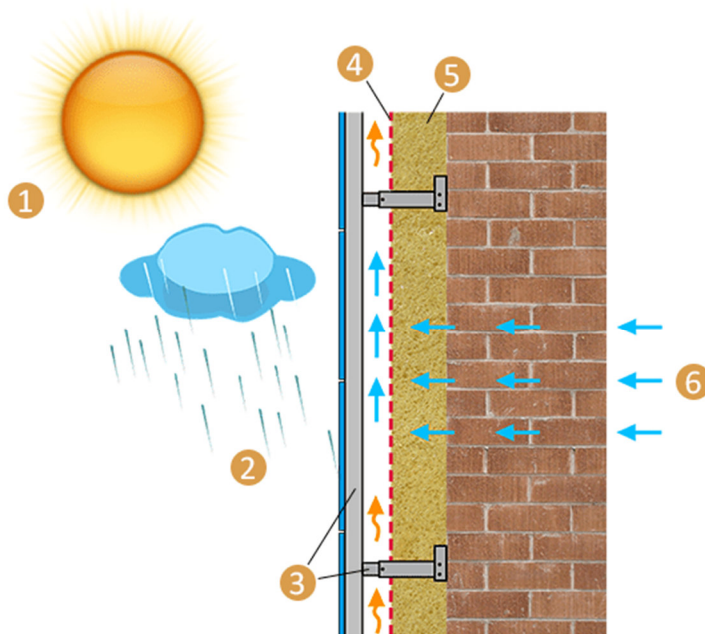
Pro efektivní proudění vzduchu ve vzduchové mezeře je nutno dodržet tloušťku mezery minimálně 40 mm či více dle výšky objektu a velikostí větracích otvorů, které se nachází

v horní a dolní části fasády. Větrací otvory musí být opatřeny mřížkou jako ochrana proti pronikání myší, hmyzu a jiných škůdců (Šubrt, 2008).

Skladba provětrávané fasády uvedená na obr. 6 se skládá z tepelné izolace připevněné na nosnou konstrukci; z difúzní fólie, která je připevněna na tepelnou izolaci a dále z nosného roštu ukotveného do nosné konstrukce stěny, na který je přichycen finální obklad fasády. Nejčastěji používané tepelné izolace jsou kamenná vlna či buničina, lze však také použít přírodní materiály, jako jsou ovčí vlna, desky z konopí nebo lnu, a jiné vláknité izolanty (Šubrt, 2008).

Finální obklad fasády plní jednak estetickou funkci, tak i ochranou funkci tepelné izolace před povětrnostními vlivy. Materiály používané pro finální povrch mohou být lehké, například dřevěné obklady jako OSB desky či CETRIS desky, plechové tabule, plastové lamely, anebo těžké z betonových, kamenných a keramických desek apod (Srdečný, 2004) (Velfel, 2010).

Obr. 6 Schéma provětrávané fasády



Legenda: 1 – ochrana budovy před oteplováním sluncem; 2 – ochrana budovy před povětrnostními vlivy; 3 – fasádní rošt ukotvený do nosné konstrukce; 4 – membrána propustná pro páry; 5 – tepelná izolace; 6 – prostup vlhkosti z vnitřního prostředí do vzduchové mezery.

Zdroj: <https://optolov.ru/cs/podelki-dlya-doma-svoimi-rukami/ventiliruemyi-fasad-dolgovechnost-utepleniya-i-effektnaya.html>

4.2.3. Sendvičové zdivo a lehké prefabrikované pláště

Sendvičové obvodové pláště mají podobnou skladbu jako pláště provětrávané, avšak mohou být prováděny bez vzduchové mezery. Součástí skladby je tepelná izolace připevněná na nosnou stěnu a ocelové konzoly pro kotvení vnější ochranné vrstvy pláště. Finální povrch

sendvičové skladby je nejčastěji tvořen přízdívkou z lícových či vápenopískových cihel (obr. 7) nebo z lehkého prefabrikovaného panelu (Hájek, 2001).

Obr. 7 Zateplení fasády s přízdívkou z cihelného zdiva



Zdroj: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/21399-vetrana-fasada-idealni-reseni-pro-budovy-s-vyssi-vlhkosti>

4.2.4. Tepelně izolační omítka

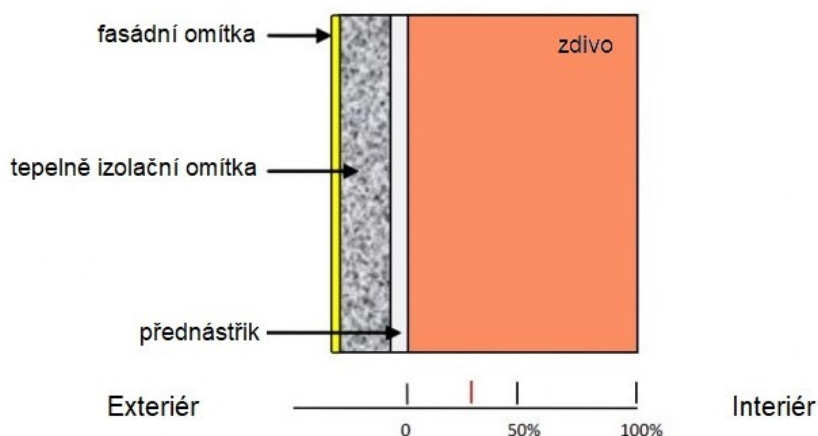
Zateplení tepelně izolační omítkou není tak efektivní jako kontaktní zateplovací systém ETICS, jelikož je omítka limitována svou maximální tloušťkou, která většinou nepřekračuje hodnotu 60 mm (Velfel, 2010).

Tepelně izolační omítky dovolují stěnám dýchat a udržovat stabilní vnitřní mikroklima, díky jejich schopnosti odvádět vlhkost ze zdiva. Jsou tak vhodné pro všechny druhy zděicích materiálů. Tyto omítky jsou založeny na bázi cementu, minerálního pojiva, perlitu či polystyrenu a dalších přísad. Mají velkou pevnost, díky které odolávají objemovým změnám, jež by u běžné omítky způsobily trhliny. Zamezují pronikání vody a ulpívání prachových částic na povrch fasády (Zateplovací (tepelně-izolační) omítky umožní stěnám volně dýchat) (Tepelně izolační omítky).

Skladba tepelně izolační omítky je uvedena na obr. 8, skládá se z provedení přednástříku, následuje nanesení tepelně izolační omítky s perlinkou, poté paropropustný sítěkový tmel a penetrace, a nakonec finální fasádní omítka (Tepelněizolační omítky).

Jedna z velkých nevýhod jsou pořizovací náklady, jež jsou často stejně vysoké či vyšší než pořízení kontaktního zateplovacího systému, který má mnohem lepší tepelně izolační vlastnosti. V praxi se tedy dává přednost kontaktnímu zateplení. Izolační omítky se používají spíše na menších plochách jako například izolant zádveří či schodišťových prostor v interiéru (Zateplovací (tepelně-izolační) omítky umožní stěnám volně dýchat) (Velfel, 2010).

Obr. 8 Skladba tepelně izolační omítky



Zdroj: <https://www.zatepleni-kwaczek.cz/zateplovaci-omitky>

4.3. Vnitřní zateplení

Vnitřní zateplení nese více rizik než venkovní zateplení, avšak v některých případech, jako například potřeba zachování fasády historického objektu, je tohoto způsobu využíváno (Srdečný, 2004).

Způsoby vnitřního zateplování jsou zejména: provedení přizdívky stávající stěny tepelně-izolačním materiálem, omítnutí stěn speciální tepelně izolační omítkou, nebo vyzdění nové vnitřní stěny s tepelnou izolací v meziprostoru (Srdečný, 2004).

Největší nevýhody vnitřního zateplování jsou zmenšení podlahové plochy objektu, vznik velkých tepelných mostů z důvodu nemožnosti izolovat vodorovné konstrukce. Dále vznik chladných zón s pravděpodobným výskytem zkondenzované vody a následně plísně z důvodu oddělení obvodové konstrukce tepelnou izolací od teplého vnitřního prostředí. V místech napojení příček, stropů a podlahy tak vznikají velmi chladná místa s velkým množstvím zkondenzované vody a s pravděpodobností růstu plísně (Srdečný, 2004).

Výhody vnitřního zateplení:

- Lze izolovat pouze jednu místnost.
- Není potřeba lešení.
- Montáž lze provádět bez ohledu na povětrnostní podmínky.
- Snadná práce svépomocí.

Nevýhody vnitřního zateplení:

- Zmenšení podlahové plochy místností.

- Velká pravděpodobnost kondenzace vlhkosti v obvodových stěnách budovy.
- Riziko promrzání obvodových stěn.
- V oblastech tepelných mostů je riziko růstu plísní.
- Zmenšení akumulční schopnosti zdiva (Srdečný, 2004).

4.4. Druhy používaných materiálů pro tepelné izolace

Vhodné materiály pro zateplování budov jsou velmi různorodé a navzájem se liší svojí tepelnou účinností, způsobem aplikace i cenou. Nejčastěji volený materiál jsou desky z minerální vlny či polystyrenu (Velfel, 2010).

Materiály pro tepelné izolace lze rozdělit podle druhu a jejich specializace do několika základních skupin:

- Izolace vláknité (vlákna skleněná, čedičová, strusková, textilní, keramická)
- Izolace z pěněných plastů (extrudované a pěnové polystyreny, pěnový PE, pěnové polyuretany, pěnové pryskyřice, pěněný kaučuk a PVC)
- Izolace minerální (keramzit, perlit, křemelina, struska, popílek)
- Izolace na bázi dřeva (dřevotřískové, dřevovláknité, piliny, korek)
- Izolace na bázi papíru
- Speciální izolace (ovčí vlna, bavlna) (Velfel, 2010)

Minerální vlna

Minerální vlna je velmi účinný tepelně izolační materiál, který můžeme rozdělit na dva druhy, a to kamennou vlnu a skelné vlákno. Tyto materiály se navzájem liší svými fyzikálními vlastnostmi (Velfel, 2010).

Skelné vlákno se vyrábí z nového či recyklovaného skla. Sklo je roztaveno a roztékáno na vlákna, která se formují do desek či rohoží. Součinitel tepelné vodivosti skelné vlny se pohybuje v rozmezí $\lambda = 0,030 - 0,045 \text{ W/m.K}$. Objemová hmotnost je $\rho = 15 - 35 \text{ kg/m}^3$ (Minerální izolace).

Lepší tepelně-izolační vlastnosti má kamenná vlna, proto bývá mnohem dražší než skelné vlákno. Součinitel tepelné vodivosti je v rozmezí $\lambda = 0,035 - 0,045 \text{ W/m.K}$ a objemová hmotnost $\rho = 30 - 100 \text{ kg/m}^3$. Kamenná vlna je nehořlavá, díky speciální impregnaci vodoodpudivá, umožňuje propustnost par, je ohleduplná k životnímu prostředí a zamezuje šíření hluku. Díky její nehořlavosti je vhodná pro zateplení střešních konstrukcí, ventilačních šachet a technických rozvodů. Nepodléhá škůdcům ani plísním, její životnost mnohdy

překračuje životnost samotného objektu. Kamenná minerální izolace se vyrábí v deskách nebo rolích (obr. 9) (Minerální izolace) (Velfel, 2010).

Obr. 9 Minerální vlna ROCKWOOL



Zdroj: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/5616-izolace-drevostavby-jak-funguje-mineralni-izolace>

Polyuretanová pěna

Zateplování technologií nástřiku tvrdé polyuretanové pěny (obr. 10) se využívá na tvarově komplikovaných plochách a špatně přístupných místech, kde není možné použít jiné metody zateplení. Princip této technologie spočívá v nástřiku směsi dvou kapalných prvků na místo, které má být izolováno. Po dopadu směsi na povrch se okamžitě mění skupenství z kapalného na pevné a zároveň směs nabývá na svém objemu (Velfel, 2010).

Výsledná izolační pěna má uzavřenou buněčnou strukturu, která nám zajistí hydroizolační efekt. Použijeme-li tuto technologii na zateplení střešní konstrukce, získáme vrstvu kvalitní tepelné izolace bez tepelných mostů s výbornou přilnavostí k povrchu, a zároveň izolaci proti vodě beze spár. Součinitel tepelné vodivosti tvrdé polyuretanové pěny je $\lambda = 0,023 \text{ W/m.K}$, což je téměř dvakrát lepší hodnota, než má pěnový polystyren. Hmotnost základní tloušťky izolační vrstvy 30 mm je pouze 2 kg/m^2 (Velfel, 2010).

Obr. 10 Stříkaná polyuretanová pěna



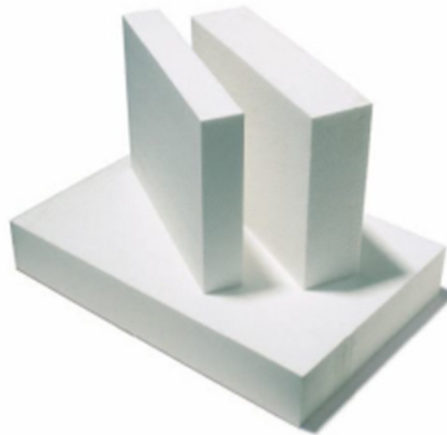
Zdroj: <http://www.chytre-bydleni.cz/zatepleni-domu-pomoci-pur-peny-jake-ma-vlastnosti>

Polystyren

Polystyren, odborně pěnový expandovaný polystyren (EPS), uvedený na obr. 11, je cenově dostupný izolant s výbornými tepelně-izolačními vlastnostmi, s tvarovou stálostí, odolností proti škůdcům a mikrobům a s dlouhou životností. Objemová hmotnost se pohybuje mezi 10 – 35 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti je $\lambda = 0,04 \text{ W/m.K}$. EPS má uzavřenou buněčnou strukturu, tak jako polyuretanová pěna. Každá buňka polystyrenu obsahuje vzduch, tím je dosaženo velmi malé tepelné vodivosti (Velfel, 2010).

Při zatížení tlakem má polystyren pružnou i trvalou deformaci. Schopnost odolávat účinku tlaku je dáno ČSN EN 826 hodnotou napětí v tlaku při 10 % kompresi. Pružnou deformaci, tedy maximální zatížení, při kterém se po odlehčení materiál vrátí do původní polohy, uvažujeme při stlačení o 2-3 % (Velfel, 2010).

Obr. 11 Fasádní polystyren EPS



Zdroj: <https://www.izolace-info.cz/katalog/polystyren/>

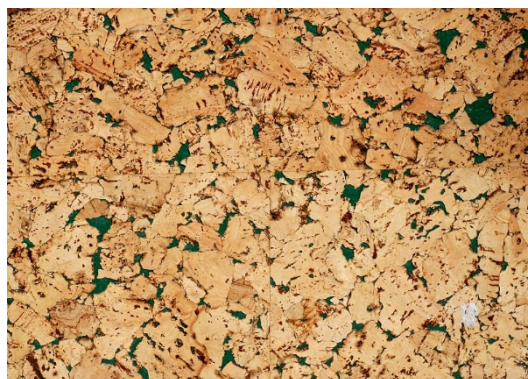
Přírodní tepelné izolace

Tepelné izolace přírodního původu získáváme z obnovitelných rostlinných či živočišných zdrojů jako jsou dřevní hmoty, stonkové hmoty a ovčí vlákna (Velfel, 2010).

Korek

Korek (obr. 12) je vyráběn z kůry korkového dubu, má výborné tepelně-izolační i zvukově-izolační vlastnosti díky jeho membránové struktuře s téměř 89,7 % plynných látek. Je velmi lehký, pružný, nepropustný a také vysoce ohnivzdorný. Korek má také odolnost vůči houbám a dřevokaznému hmyzu (Velfel, 2010).

Obr. 12 Tepelná izolace z Korku



Zdroj: <https://www.lepebydlet.cz/korek-jako-ucinna-a-kvalitni-izolace>

Celulóza

Tepelně-izolační materiál Celulóza (obr. 13) se nejčastěji vyrábí ze starého novinového papíru, který je drcen a napouštěn sloučeninami bóru. Impregnace zajistí odolnost proti požáru a napadení škůdci. Součinitel tepelné vodivosti je $\lambda = 0,037 \text{ W/m.K}$ a objemová hmotnost se pohybuje okolo $26\text{-}50 \text{ kg/m}^3$. Celulóza se používá ve formě vloček nebo desek. Vločky se nafoukají do dutých prostor v různých tloušťkách, nebo jsou stříkány ve vlhkém stavu na svislé povrchy bednění (Šubrt, 1998) (Velfel, 2010).

Celulóza je difúzně propustná a umí do sebe absorbovat vlhkost, tím pomáhá upravovat vnitřní klima interiéru. Negativní vlastností celulózy je složitá recyklace kvůli příměsím a její velká prašnost při aplikaci (Velfel, 2010).

Obr. 13 Foukaná tepelná izolace z Celulózy



Zdroj: <https://www.novinky.cz/bydleni/jak-na-to/clanek/jak-vybrat-spravnou-izolaci-ktera-udrzi-teplo-v-dome-40002586>

Dřevovláknité desky

Dřevovláknité desky (obr. 14) mají tepelně a zvukově izolační vlastnosti a jsou vysoce odolné proti požáru. Pro výrobu se používají dřevěná vlákna z měkkého dřeva či štěpky,

nejčastěji z jehličnatých stromů a přísady pro zajištění vodoodpudivosti materiálu. Objemová hmotnost je v rozmezí 120–260 kg/m³ (Velfel, 2010).

Desky se vyrábějí v různých tloušťkách od 6–100 mm a s různou úpravou okrajů, tj. profilované pro spoje pero a drážka, nebo s rovným okrajem (Velfel, 2010).

Obr. 14 Dřevovláknitá izolace



Zdroj: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-materialy-pro-drevostavby.html>

Sláma a seno

Slisováním slámy a sena do balíků (obr. 15) získáme kvalitní izolační materiál, kterým lze izolovat podlahy, stropy i svislé obvodové konstrukce. U dřevostaveb se sláma využívá jako dodatečná izolace obvodových stěn, výplň skeletu, či jako výplň dřevěného sendvičového panelu. Rozsah tepelně izolačních vlastností závisí na hustotě a tloušťce slaměného balíku. Tepelná izolace ze slámy a sena je snadně dostupný, obnovitelný a energeticky nenáročný materiál s dobrými difúzními vlastnostmi (Velfel, 2010).

Obr. 15 Tepelná izolace slámou a senem



Zdroj: <https://www.nazeleno.cz/tepelne-izolace-slama-a-zkusenosti-z-praxe/>

Rákos

Pro zateplení se používají rákosové rohože (obr. 16), které jsou slisované a spojované pozinkovaným drátem. Díky hrubé struktuře rákosu mají rohože kvalitní přilnavost omítek. Tepelně izolační vlastnosti zajišťují mezery mezi jednotlivými stéblky a dutiny ve stoncích

rákosu. Rákosový granulát lze použít při výrobě izolačních desek. Rákos je odolný proti škůdcům, má malou hmotnost, avšak horší izolační vlastnosti než jiné přírodní materiály (Velfel, 2010).

Obr. 16 Rákosová rohož



Zdroj: <https://www.prirodnistavba.cz/rakosova-rohoz-25x1000x1000-mm-2742.html>

Len

Pro výrobu lněné izolace (obr. 17) se používají krátká lněná vlákna, která nemají využití v textilním průmyslu. Pro zvýšení odolnosti proti požáru a škůdcům a pro zvýšení elasticity se do výchozí suroviny přidávají vlákna z polyesteru, borax, vodní sklo či amoniak. Lněná izolace se používá ve formě desek, rolí nebo sypaný granulát (Velfel, 2010).

Obr. 17 Lněná tepelná izolace



Zdroj: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/20234-len-jako-izolace-vlastnosti-zabudovani-a-pouziti-a.html#.YHrx5WczaUk>

Konopí

Tepelná izolace z konopí (obr. 18) má dobré tepelně a zvukově izolační vlastnosti a může být ve formě rohoží či rolí. Používá se pro izolaci obvodových stěn, střech, podlah i stropů. V našich podmínkách se tento materiál příliš nevyužívá (Velfel, 2010).

Obr. 18 Tepelná izolace z technického konopí



Zdroj: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/301-izolace-z-obnovitelnych-surovin-drevo-celuloza-konopi-ovci-vlna-slama>

Kokosové vlákno

Na povrchu kokosového ořechu se nacházejí vlákna o délce 15-30 cm, které jsou uvnitř duté, to zajišťuje izolační funkci. Kokosová vlákna se suší na slunci a následně se několik měsíců namáčí ve vodě či bahně. Tato surovina se poté formuje do plsti, desek nebo rohoží. Pro snížení hořlavosti jsou přidávány látky jako borax, vodní sklo, či síran amonný.

V našich podmínkách se kvůli vysoké ceně využívá kokosové vlákno pouze v kombinaci s korkem ve formě desek (obr. 19) jako izolace proti kročejovému hluku v podlahách (Velfel, 2010).

Obr. 19 Izolace Corkoco - kombinace korku a kokosových vláken



Zdroj: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/20478-stavebni-tepelne-izolace-cast-ii-slama-kokosove-vlakna-a.html#.YHv7aWczaUk>

Ovčí vlna

Tato tepelná izolace se vyrábí z vlny získané stříháním ovcí (obr. 20). Vlákna vlny jsou tvořena hydrofobní bílkovinou, izolace je tak vhodná do prostor s vyšší kondenzací vlhkosti, kterou do sebe pohltí. Vlna udržuje příznivé vnitřní klima a optimální míru vlhkosti. Ovčí vlna je odolná proti škůdcům, avšak proti molům se přidává 1 % močovinný derivát. Součinitel

tepelné vodivosti ovčí vlny je $\lambda = 0,040 \text{ W/m.K}$. Optimální tloušťka při zateplování stavby se pohybuje okolo 250 mm (Velfel, 2010) (IZOLACE Z OVČÍ VLNY)

Obr. 20 Tepelná izolace z ovčí vlny



Zdroj: <https://www.naturwool.cz/izolace-z-ovci-vlny/>

Aerogel – moderní tepelná izolace

Aerogel je nanofibrilovaný celulóзовý materiál na bázi borového dřeva vyrobený lyofilizační metodou neboli sušením vymrazováním (obr. 21). Celulóзовá nanovláknna lze vyrobit také z přírodních vláken, ze zemědělského odpadu a různých průmyslových zbytků, které obsahují zejména lignocelulóзовou biomasu. Aerogel má velmi malou hustotu $\rho = 8,1 \text{ kg/m}^3$, vysokou pórovitost až 99,4 % a velkou pevnost. Struktura aerogelu má nízkou tepelnou vodivost okolo $\lambda = 0,025 \text{ W/m.K}$, vysokou pohltivost zvuku a nízkou dielektrickou konstantu. Vzhledem k těmto vlastnostem je aerogel výborným tepelně izolačním materiálem (Low density and high strength, 2018).

Obr. 21 Schematické znázornění syntézy nanofibrilovaného celulóзовého aerogelu



Zdroj: (Low density and high strength, 2018).

5. Způsoby vytápění rodinných domů

Způsobů vytápění je celá řada: ústřední vytápění, lokální vytápění, etážové vytápění či kombinované vytápění. Při volbě způsobu vytápění je třeba zvážit naše požadavky na vytápění a omezení vyplývající z umístění stavby. Například v oblasti bez možnosti připojení na plynovod či zemní plyn jsme nuceni použít jiný druh paliva. Dále je nutné zvážit, zda bude instalována nová vytápěcí soustava, či pouze upravíme tu stávající. Pořízení nové soustavy je finančně náročnější a je potřeba posoudit efektivitu takto velké investice (Dufka, 2007) (Dufka, 2004).

Pro rodinné domy je nejčastěji využíváno ústředního teplovodního vytápění s konvenčními otopnými tělesy, tj. radiátory či konvektory. Cena zhotovení nové otopné soustavy pro zateplený rodinný dům průměrné velikosti se pohybuje od 150 000,-Kč do 500 000,-Kč. Záleží na druhu zdroje vytápění, na kvalitě otopných těles, na druhu radiátorových ventilů a způsobu regulace otopné soustavy (Dufka, 2004).

Investice do nové otopné soustavy se vyplatí tehdy, pokud se v nemovitosti plánuje trvale či přechodně bydlet, jestliže je stávající otopná soustava morálně zastaralá a nevhodná, nebo má takové vady či nedostatky, že již není ekonomicky efektivní soustavu opravovat (Dufka, 2004).

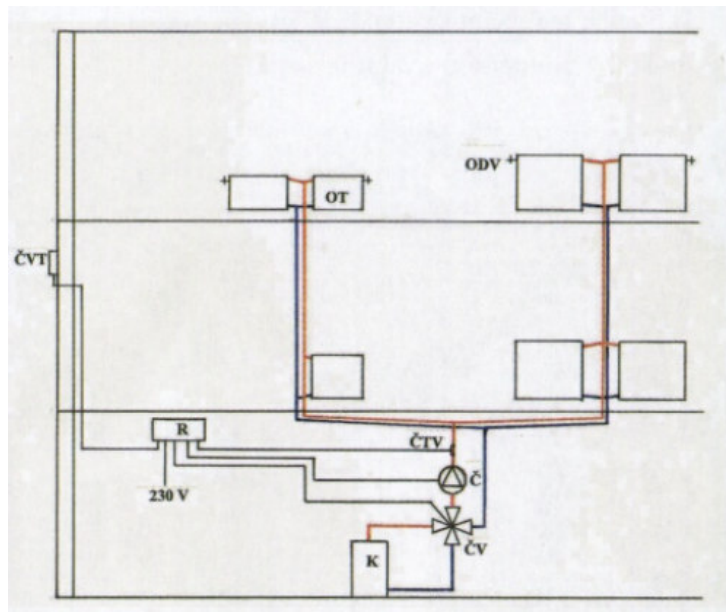
5.1. Konvekční vytápění

Při konvekčním vytápění se teplo šíří prouděním. Od otopného tělesa se nejprve ohřeje vzduch a od něj pak strop, stěny a podlaha. Jako otopná tělesa se využívají radiátory, desková tělesa či podlahové konvektory (Dufka, 2007).

Na obr. 22 je schéma teplovodní otopné soustavy v rodinném domě. Kotel se nachází v místnosti s dostatečným přívodem vzduchu. Nesmí být umístěn v místech, kde se skladují potraviny a hořlavé látky. Ohřátá voda z kotle je vedena stoupacím potrubím k otopným tělesům, které zajišťují přenos tepelné energie obsažené v topném médiu. Otopné plochy předávají teplo do místnosti a ochlazená voda následně klesá do kotle a cyklus se opakuje. Kotel je opatřen tlakoměrem, teploměrem, pojistným ventilem, oběhovým čerpadlem, směšovací armaturou, regulací a případně dalšími díly (Bašta, 2008) (Dufka, 2007).

Oběh topné vody v otopné soustavě může být přirozený neboli samotížný, který je zajištěn rozdíly hustot přívodní teplé vody a vratné chladné vody. Nebo je oběh vyvolaný nuceně tlakem oběhového čerpadla (Bašta, 2008).

Obr. 22 Schéma teplovodního vytápění dvou podlaží



Legenda: OT – otopné těleso, ODV – odvzdušnění, ČVT – čidlo venkovní teploty, R – regulátor, Č – čerpadlo, K – kotel, ČV – čtyřcestný ventil

Zdroj: (Dufka, 2007)

Otopná tělesa se opatřují termostatickými ventily či ventily s termostatickou hlavicí. Pro regulaci průtoku a pro případné opravy se na potrubí ústící do otopného tělesa umísťuje regulační ventil (Dufka, 2007).

5.2. Sálavé vytápění

Během sálavého neboli velkoplošného vytápění se vzduch v místnosti ohřívá od velké plochy (podlaha, strop či stěny). Dříve se prováděli otopné soustavy se sáláním ze stropní konstrukce. Časem se však ukázalo, že sálání tepla ze stropu způsobuje lidem bolesti hlavy a další potíže. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívá sálání tepla z podlahy a stěn (Dufka, 2007).

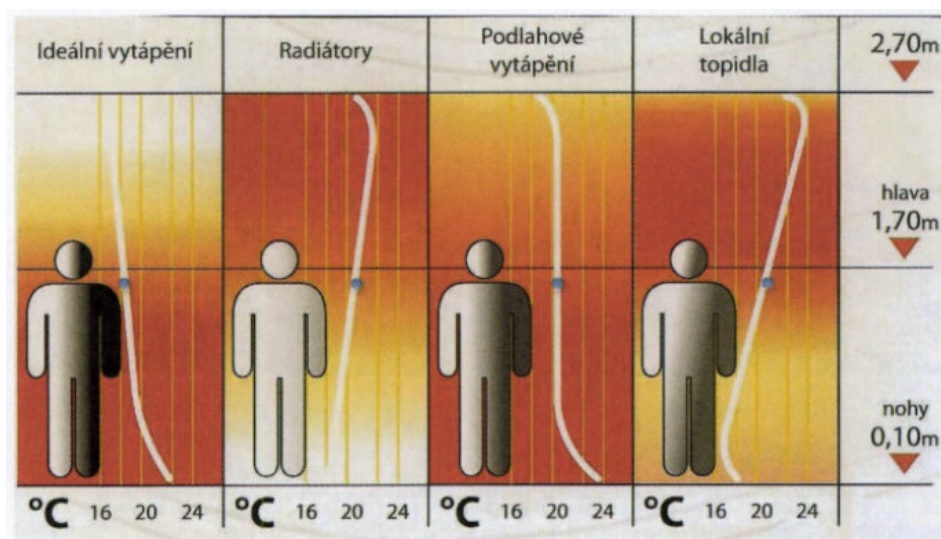
Sálavé systémy vytápění pracují s nízkou teplotou otopné vody blízké teplotě místnosti. V závislosti na poloze potrubí je využívána akumulární schopnost stavební konstrukce. Přenos sálavého tepla nemá přímý vliv na teplotu vnitřního vzduchu v místnosti. Nejprve se ohřívají okolní povrchy, které pak nepřímě ohřívají vzduch v místnosti (Radiant heating and cooling systems (Part 1), 2017).

Maximální přípustná teplota pro podlahy u podlahového vytápění je 29 °C. V místnostech, kde se lidé pohybují bosí, jako koupelna či šatna, závisí optimální teplota podlahy na materiálu pochozí vrstvy. Maximální teplota pro stěnové vytápění je v rozsahu 35–45 °C (Radiant heating and cooling systems (Part 1), 2017).

Na základě rozložení teploty vzduchu v místnosti (obr. 23) v závislosti na způsobu vytápění je nejvhodnější právě podlahové vytápění. Podlahové i stěnové vytápění je prováděno

teplovodním potrubím či elektrickými rohožemi. Potrubí i rohože jsou buď zabetonovány nebo se zakrývají sádkartonovou konstrukcí (Dufka, 2007).

Obr. 23 Teplota vzduchu u různých způsobů vytápění



Zdroj: (Dufka, 2007)

Výhody podlahového vytápění jsou zejména: nízká teplota topné vody, oproti radiátorovému vytápění se místnosti vytápějí na mnohem nižší teplotu a jejich jednoduchá regulace (Dufka, 2007).

5.3. Kombinace konvekčního a sálavého vytápění

V rodinných domech se často kombinuje konvenční a sálavé vytápění, tedy vytápění radiátory v kombinaci s podlahovým topením či podlahové konvektory a podlahové topení. Z jednoho zdroje tepla je topná voda vedena do potrubí podlahového vytápění i do konvekčních otopných těles (Dufka, 2007).

5.4. Lokální vytápění

Lokálním vytápěním je myšleno vytápění jedné či dvou místností pouze jedním topidlem. Mohou to být krbová kamna, mobilní elektrické radiátory (obr. 24), a další. Tento způsob se používá u malých rodinných domů, kde se nevyplácí budovat ústřední či etážové vytápění. Velkou výhodou jsou malé pořizovací náklady, jelikož odpadá potřeba vybudovat potrubní rozvody, prostupy stěnami či stropy a pro akumulční kamna či elektrická topidla nemusíme stavět komín (Dufka, 2007).

Lokální topidla mohou být na různé druhy paliv, jako jsou: uhlí, dřevo, zemní plyn, propanbutan nebo elektrická energie. Nevýhodou je nutnost příkládání paliva a odebírání popela při topení tuhými palivy, avšak náklady na tyto paliva jsou nízké (Dufka, 2007).



Zdroj: (Dufka, 2007)

5.5. Porovnání jednotlivých vytápěcích soustav

Všechny uvedené vytápěcí soustavy mají své výhody i nevýhody. Při volbě soustavy je nutné zvážit velikost objektu, druhy paliv i finanční možnosti. Níže je uvedena stručná charakteristika jednotlivých otopných soustav včetně jejich výhod a nevýhod (Dufka, 2007).

Konvekční vytápění

Teplo je šířeno konvekcí neboli prouděním, což je méně hygienické z důvodu víření prachu. Jsou zde vyšší pořizovací náklady, je nutné používat kvalitní regulační techniku. Výhoda je velké množství hospodárných zdrojů tepla i otopných těles na trhu. Konvekčního vytápění se nejčastěji využívá v rodinných domech a v chatách (Dufka, 2007).

Sálavé vytápění

Teplo je šířeno sáláním. Tento způsob nevíří prach, je tak vhodný pro alergiky. Pořizovací náklady jsou také vyšší, avšak provozní náklady jsou malé. Sálavé vytápění zajišťuje příjemný pocit tepelné pohody. Je na výběr teplovodní či elektrické vytápění a nejvíce se hodí do místností, kde je nášlapnou vrstvou podlahy keramická dlažba (Dufka, 2007).

Ústřední vytápění

Topná voda je vedena potrubím od zdroje tepla do otopných těles ve více podlažích. Může to být podlahové vytápění i radiátory, či jejich kombinace. Tento způsob má nižší provozní náklady a je vhodný do vícepodlažních budov (Dufka, 2007).

Etážové vytápění

Etážové vytápění je podobné ústřednímu vytápění, avšak všechny části otopné soustavy jsou pouze v jednom podlaží. Tento způsob je nejvhodnější pro jednopodlažní rodinné domy, nicméně může být i ve vícepodlažním objektu, přičemž jednotlivá podlaží mají své nezávislé vytápění (Dufka, 2007).

Lokální vytápění

Lokální vytápění má malé pořizovací náklady, avšak není moc hospodárné. Lze používat mobilní topidla, které můžeme přesouvat z jedné místnosti do druhé. Pokud nevyužijeme krb, není potřeba budovat komín. Tento způsob vytápění je vhodný do malých rodinných domů či chat (Dufka, 2007).

V rodinných domech, kde jsou vytápěna přízemí a další podlaží se nejčastěji buduje kombinace konvekčního a podlahového vytápění. Nejvhodnějším zdrojem bývá plynový kondenzační kotel, pokud je v dané lokalitě zavedena plynovodní přípojka. Dalším vhodným zdrojem může být tepelné čerpadlo v kombinaci s elektrokotlem, a další (Dufka, 2007).

5.6. Způsoby regulace

Díky regulaci můžeme omezit výkon topení tak, abychom objekt zbytečně nepřetápěli a tím tak ušetřili provozní náklady při zachování komfortu bydlení. Regulace může být umístěna ve zdroji tepla, v rozvaděči tepla či u jednotlivých otopných těles. Kvalitní regulací se dosahuje úspory od 5 do 15 % (Srdečný, 2004) (Dufka, 2004).

5.6.1. Regulace kotle

Základní regulace probíhá na úrovni zdroje tepla, která upravuje jeho výkon například zvýšením či snížením množstvím paliva. Moderní kotle (plynové i na tuhá paliva) jsou schopny efektivně regulovat přísun paliva a tím tak měnit svůj výkon v rozsahu 30 až 100 %. Regulace starých kotlů na uhlí pomocí škrcení neboli omezení přívodu spalovacího vzduchu, má za příčinu špatnou účinnost kotle a špatné emisní parametry (Srdečný, 2004).

5.6.2. Regulace otopné soustavy

Regulace otopné soustavy podle času

Pro efektivní vytápění je nutné zajistit dodávku tepla pouze v době, kdy je to potřeba. Například v noci stačí vytápět na nižší teplotu než během dne. Nainstalováním časového a teplotního spínače a nastavením programu zajistíme kvalitní regulaci otopné soustavy. Tímto způsobem lze regulovat celý objekt najednou či jednotlivé místnosti nezávisle na sobě v různých časových intervalech (Srdečný, 2004).

Regulace otopné soustavy podle počasí

Pro rovnoměrné a hospodárné vytápění je potřeba, aby byl zachován stále stejný průtok topného média otopnou soustavou. Jestliže budeme průtok často měnit kvůli měnícímu se počasí, některé místnosti mohou být přetápěny či naopak vytápěny málo. Ekvitermní regulace pracuje podle topných křivek na jejichž základě směšuje topnou vodu tak, aby měla stále

optimální teplotu. Tato regulace reaguje na změny venkovní teploty. Při nízké venkovní teplotě je do otopné soustavy vháněna teplejší voda a při teplejším počasí teplota vody klesá. Tímto způsobem je plynule upravován výkon otopné soustavy (Srdečný, 2004).

5.6.3. Využití tepelných zisků

Pro udržení teploty v místnosti nemusí sloužit pouze otopná soustava, ale také svit slunce do oken, či teplo vnikající při vaření a žehlení. K využití těchto tepelných zisků slouží termoregulační ventily (obr. 25), které uzavřou přívod topného média do otopného tělesa zvýší-li se teplota v místnosti nad nastavenou hodnotu. Výhodou je možnost regulace každého tělesa nezávisle na sobě. Moderní termostatické regulátory lze programovat počítačem. Jsou vhodné do míst, které jsou využívány v různých dnech v týdnu a v různé denní době (Srdečný, 2004) (Dufka, 2004).

Obr. 25 Termoregulační ventily



Zdroj: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/13137-na-konci-leta-je-dobre-zkontrolovat-termostaticke-hlavice-spatna-pece-muze-ohrozit-jejich-fungovani>

Jestliže jsou termoregulační ventily montovány dodatečně, je potřeba provést i další úpravy otopné soustavy. U soustav s nuceným oběhem topného média nelze najednou uzavřít všechna otopná tělesa a tím tak omezit průtok vody. Čerpadlo bude dál tlačit vodu do otopné soustavy což může zapříčinit poškození některých jejích částí. Je tedy nutné současně nainstalovat regulaci tlakové diference (Srdečný, 2004).

Podle zákona o hospodaření s energií (406/2000 Sb.) a prováděcí vyhlášky (152/2001 Sb.) je nutné vytápěcí soustavy vybavit regulací, která umí využívat vnitřní tepelné a solární zisky a regulací tlakové diference. Což jsou již zmíněné termoregulační ventily. Povinnost se vztahuje na bytové domy a rodinné domy, které pronajímají své prostory (Srdečný, 2004).

6. Metodika práce

6.1. Základní údaje objektu

Jedná se o rodinný dům lidově zvaný okál, nacházející se ve vesnici nedaleko města Jičína v Královéhradeckém kraji. Dům je koncipován jako řadový dům, kde je pouze jedna strana připojena na sousední dům. Objekt byl postaven v roce 1988 a je situován na jihovýchodní stranu.

Okál je montovaná panelová dřevostavba s fasádou z azbestocementových desek. Tyto typy staveb byly hojně stavěny na začátku 70. let 20. století. Bydlení v těchto dřevostavbách bylo tehdy vnímáno jako velmi atraktivní a cenově dostupná alternativa k panelovým domům na sídlištích (Neružil, 2012).

Objekt má dvě nadzemní podlaží, podkroví a sedlovou střechu. V prvním nadzemním podlaží se nachází garáž pro jeden automobil, technická místnost, vstupní chodba do objektu, prostorná kuchyně, koupelna s WC a pokoj pro hosty. Ve druhém nadzemním podlaží se nachází tři ložnice, obývací pokoj a koupelna s WC. Podkroví slouží pouze jako úložný prostor. Celková čistá podlahová plocha domu je necelých 140 m².

Vytápění objektu je zajištěno teplovodním systémem s elektrokotlem a kotlem na tuhá paliva. K ohřevu topné vody je však převážně využíváno elektrického kotle. Pro ohřev užitkové vody slouží samostatný boiler. Kotel na tuhá paliva není v posledních několika letech využíván z důvodu pracnosti se skladováním tuhého paliva a díky poměrně nízké ceně elektrického vytápění.

V roce 2005 byla provedena rekonstrukce, která zahrnovala zhotovení nové fasády, tj. kontaktního zateplovacího systému a výměnu starých hliníkových oken za nová plastová okna. Na obr. 26 je fotografie stávajícího stavu rodinného domu.

Obr. 26 Foto řešeného rodinného domu



Zdroj: Fotodokumentace autora

6.2. Klimatické podmínky

6.2.1. Vnější klima

Venkovní výpočtová teplota pro lokalitu Jičín je $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, dle normy ČSN 38 3350 a normy ČSN EN 12831-1. Délka topného období je v průměru 228 dnů, střední teplota v nejmraznějším měsíci (leden) je $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a roční průměrná teplota vzduchu se pohybuje okolo $8,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.2.2. Vnitřní klima

Pro výpočet tepelných ztrát je nutné znát nejen venkovní výpočtovou teplotu, ale také teploty vnitřního prostředí, které jsou uvedeny v tab. 2. Tyto teploty byly voleny na základě normy ČSN EN 12831-1.

Tab. 2 Vnitřní klima objektu

Podlaží	Číslo místnosti	Účel místnosti	Výměra [m ²]	Výpočtová vnitřní hodnota [°C]
1.NP	1.1	Vstupní chodba	4,66	5
	1.2	Technická místnost	8,36	15
	1.3	Garáž	13,03	5
	1.4	Sklad náradí	3,68	5
	1.5	Koupelna s WC	3,04	24
	1.6	Kuchyně s jídelnou	26,67	20
	1.7	Chodba	1,90	15
	1.8	Pokoj pro hosty	8,25	20
2.NP	2.1	Chodba	4,13	15
	2.2	Koupelna s WC	4,00	24
	2.3	Ložnice 1	13,15	20
	2.4	Ložnice 2	11,67	20
	2.5	Ložnice 3	12,93	20
	2.6	Obývací pokoj	20,75	20
Podkroví	3.1	Podkroví	70,00	0

6.3. Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] vyjadřuje výměnu tepla mezi prostory od sebe oddělenými stavební konstrukcí. Z výše uvedených jednotek vyplývá, že se jedná o množství tepla, které pronikne za 1 sekundu konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu venkovní a vnitřní teploty povrchů o 1 K .

Dle normy ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody je dán vztah (1) pro součinitel prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1)$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (2)$$

Kde:

U	součinitel prostupu tepla	[$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
R_T	odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí)	[$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
R	tepelný odpor konstrukce	[$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]
λ	součinitel tepelné vodivosti konstrukce	[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]
d	tloušťka vrstvy materiálu konstrukce	[m]

Pro výpočet součinitelů prostupu tepla byla použita interaktivní kalkulačka na stránkách stavba.tzb-info.cz, která je naprogramována v souladu s normou ČSN 73 0540-4. Výpočet vychází z hodnot uvedených v tab. 2-9.

Vyhodnocení, zda součinitelé vyhovují či nikoliv, je provedeno dle tab. 3 normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky.

Následující součinitele tepelné vodivosti λ [W/mK] pro jednotlivé materiály byly převzaty z normativní přílohy A normy ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin.

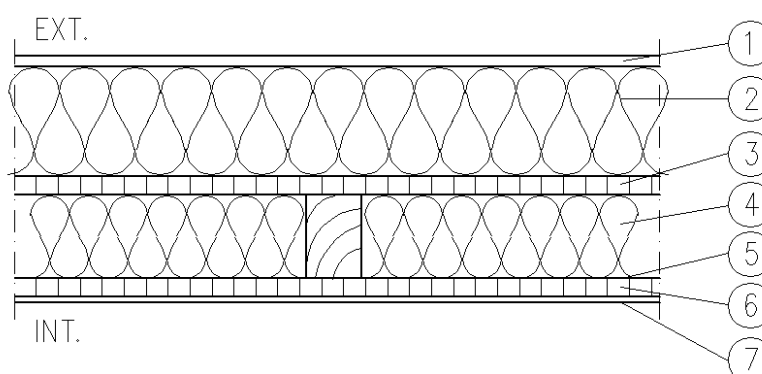
6.3.1. Skladba vnějšího pláště budovy

Tab. 3 Skladba vnějšího pláště budovy

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Vnější vápenná omítka	0,015	0,7
2	Tepelná izolace XPS	0,1	0,038
3	Dřevotřísková deska	0,017	0,18
4	Minerální tepelná izolace	0,076	0,041
5	PE fólie	0,0001	0,35
6	Dřevotřísková deska	0,017	0,18
7	Vnitřní vápenocementová omítka	0,01	0,99

Na obr. 27 je uveden schematický řez obvodovou konstrukcí. Čísla jednotlivých vrstev skladby odpovídají číslům položek v tab. 3.

Obr. 27 Skladba vnějšího pláště objektu



Zdroj: Vlastní tvorba autora

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vyhovuje požadované hodnotě $U_N = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle normy ČSN 73 0540-2, avšak doporučené hodnotě pro lehké konstrukce $U_{rec} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ NEVYHOVUJE.

6.3.2. Skladba vnitřních příček

Vnitřní příčky jsou pouze duté dřevotřískové panely o tloušťce 70 mm omítnuté vápenocementovou omítkou z obou stran. Součinitel prostupu tepla vnitřních příček $U = 1,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, který vyhovuje doporučené hodnotě $U_{rec} = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle ČSN 73 0540-2.

6.3.3. Skladba podlahy nad terénem

V přízemí se nacházejí různé povrchy podlah v závislosti na typu místnosti. V garáži, skladu náradí a technické místnosti je jako finální povrchová úprava pouze betonová podlaha opatřená nátěrem proti prašnosti. Ve vstupní chodbě a navazující chodbě se nachází PVC dlažba. V koupelně s WC je provedena keramická dlažba, a dále v kuchyni s jídelnou a v pokoji pro hosty je jako finální povrch laminátová podlaha.

Požadovaný součinitel prostupu tepla pro podlahy vytápěného prostoru přilehlé k zemině je dle normy ČSN 73 0540-2 $U_N = 0,45 W/(m^2 \cdot K)$. To se vztahuje na místnosti č. 1.8 pokoj pro hosty, č. 1.6 kuchyň s jídelnou a č. 1.5 koupelnu s WC.

Pro podlahy přilehlé k zemině temperovaného prostoru je požadovaný součinitel $U_N = 0,85 W/(m^2 \cdot K)$. To jsou místnosti č. 1.1 vstupní chodba, č. 1.2 technická místnost, č. 1.3 garáž, č. 1.4 sklad náradí a místnost č. 1.7 chodba.

Tab. 4 Skladba podlahy nad terénem – laminátová podlaha – místnosti č. 1.8 a č. 1.6

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Laminátová podlaha	0,008	0,21
2	Izolace Mirelon	0,002	0,038
3	Dřevotřísková deska	0,018	0,18
4	Tepelná izolace XPS	0,050	0,038
5	Hydroizolace	0,004	0,21
6	Betonová deska + kari síť	0,150	1,43
7	Štěrkový podsyp	0,100	2

Výsledný součinitel prostupu tepla dle tab. 4 pro skladbu laminátové podlahy $U = 0,53 W/(m^2 \cdot K)$ NEVYHOVUJE požadované hodnotě pro podlahu vytápěné místnosti přilehlé k zemině $U_N = 0,45 W/(m^2 \cdot K)$ dle normy ČSN 73 0540-2.

Tab. 5 Skladba podlahy nad terénem – keramická dlažba – místnost č. 1.5

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Keramická dlažba do stěrky	0,01	1,3
2	Litý cementový potěr	0,050	1,2
3	Tepelná izolace XPS	0,050	0,038
4	Hydroizolace	0,004	0,21
5	Betonová deska + kari síť	0,150	1,43
6	Štěrkový podsyp	0,100	2

Součinitel prostupu tepla pro podlahu s keramickou dlažbou dle tab. 5 je $U = 0,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Jelikož se jedná o vytápěný prostor, výsledný součinitel NEVYHOVUJE požadované hodnotě $U_N = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Tab. 6 Skladba podlahy nad terénem – PVC – místnosti č. 1.1 a č. 1.7

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Povlaková podlaha - PVC	0,003	0,17
2	Betonová mazanina	0,100	1,43
4	Tepelná izolace XPS	0,050	0,038
5	Hydroizolace	0,004	0,21
6	Betonová deska + kari síť	0,150	1,43
7	Štěrkový podsyp	0,100	2

Tab. 7 Skladba podlahy nad terénem – betonová podlaha – místnosti č. 1.2, č. 1.3, č. 1.4

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Protiprašný nátěr	-	-
2	Betonová mazanina	0,100	1,43
3	Tepelná izolace XPS	0,050	0,038
4	Hydroizolace	0,004	0,21
5	Betonová deska + kari síť	0,150	1,43
6	Štěrkový podsyp	0,100	2

Dle skladeb uvedených v tab. 6 a tab. 7 jsou výsledné součinitele prostupu tepla pro podlahu s PVC povrchem a pro betonovou podlahu s nátěrem $U = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což vyhovuje požadované hodnotě součinitele pro prostory temperované s podlahou přilehlou k zemině $U_N = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

6.3.4. Skladba stropu nad 1.NP

Stropní konstrukce nad 1.NP je tvořena trámovým stropem s minerální tepelnou izolací mezi trámy, které jsou opatřeny dřevotřískovou deskou z obou stran. Jako pochozí vrstva zde slouží laminátová podlaha (tab. 8).

Tab. 8 Skladba stropu nad 1.NP

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Laminátová podlaha	0,008	0,21
2	Izolace Mirelon	0,002	0,038
3	Dřevotřísková deska	0,018	0,18
4	Minerální tepelná izolace	0,06	0,041
4	Dřevotřísková deska	0,018	0,18
6	Vnitřní vápenocementová omítka	0,010	0,99

Součinitel prostupu tepla konstrukce stropu (tab. 8) $U = 0,42 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vyhovuje doporučené hodnotě pro strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do $5 \text{ }^\circ\text{C}$ $U_{rec} = 1,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle normy ČSN 73 0540-2.

6.3.5. Skladba stropu nad 2.NP

Skladba stropní konstrukce nad 2.NP je stejná jako skladba stropu nad 1.NP, avšak zde není provedena finální povrchová úprava podlahy.

Tab. 9 Skladba stropu nad 2.NP

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Dřevotřísková deska	0,018	0,11
2	Vzduchová mezera	0,026	0,026
3	Minerální tepelná izolace	0,050	0,041
4	Dřevotřísková deska	0,018	0,18
5	Vnitřní vápenocementová omítka	0,010	0,99

Vypočítaný součinitel prostupu tepla konstrukce stropu (tab. 9) $U = 0,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vyhovuje požadované hodnotě pro strop vnitřní z vytápěného prostoru k nevytápěnému prostoru $U_N = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle normy ČSN 73 0540-2, nicméně doporučené hodnotě $U_{rec} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ NEVYHOVUJE.

6.3.6. Plastová okna, balkónové a vchodové dveře

Okna a balkónové dveře jsou řešena jako okna plastová s izolačním dvojsklem, součinitel prostupu tepla pro starší objekty je dle normy ČSN 73 0540-3 $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což NEVYHOVUJE požadované hodnotě $U_N = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle normy ČSN 73 0540-2. Vchodové dveře jsou také plastové, částečně prosklené. Jejich součinitel prostupu tepla $U = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ avšak také NEVYHOVUJE požadované hodnotě $U_N = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle ČSN 73 0540-2.

6.3.7. Vnitřní dveře

Vnitřní dveře jsou dřevěné plné a některé dřevěné ze 2/3 prosklené. Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla je dle normy ČSN 73 0540-3 $U = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

6.3.8. Skladba střechy

Střešní konstrukce je tvořena dřevěnými příhradovými vazníky, z vnější části jsou obedněny dřevotřískovými deskami, fólií proti zatékání vlhkosti a dřevěným roštem s krytinou. Střešní konstrukce je stále v původním nezatepleném stavu, jelikož půdní prostor neslouží jako obytná část, ale pouze jako úložný prostor. Izolaci obytných místností pod půdním prostorem má zajišťovat zateplený strop nad 2.NP, který z důvodu tloušťky izolačního materiálu je však nedostačující.

Součinitel prostupu tepla pro stávající konstrukci střechy je $U = 3,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což NEVYHOVUJE požadované hodnotě $U_N = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ dle normy ČSN 73 0540-2. V návrhu nového zateplení RD bude uvažováno kompletní zateplení střešní konstrukce tak, aby mohl být půdní prostor v budoucnu využit jako další obytná místnost.

6.4. Vyhodnocení součinitelů prostupu tepla stávajících konstrukcí

V tab. 10 je uveden souhrn výše popsaných konstrukcí a jejich stávající součinitel prostupu tepla v porovnání s požadovanými a doporučenými hodnotami dle normy ČSN 73 0540-2.

Tab. 10 Součinitelé prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a jejich posouzení

Druh konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]			Posouzení
	Hodnoty stávající konstrukce	Hodnoty dle ČSN 73 0540-2		
		Požadovaná hodnota U_N	Doporučená hodnota U_{rec}	
Skladba vnějšího pláště	0,22	0,3	0,2	Nevyhovuje doporučené hodnotě
Skladba vnitřních příček	1,52	2,7	1,8	Vyhovuje
Skladba podlahy nad terénem – vytápěný prostor	0,53	0,45	0,3	Nevyhovuje
Skladba podlahy nad terénem – temperovaný prostor	0,56	0,85	0,6	Vyhovuje
Skladba stropu nad 1.NP	0,42	2,2	1,45	Vyhovuje
Skladba stropu nad 2.NP	0,55	0,6	0,4	Nevyhovuje doporučené hodnotě
Skladba střešní konstrukce	3,9	0,24	0,16	Nevyhovuje
Vnější výplně otvorů	2,5	1,5	1,2	Nevyhovuje
Vchodové dveře	2	1,7	1,2	Nevyhovuje
Vnitřní výplně otvorů	2,5	3,5	2,3	Vyhovuje

Konstrukce, které nevyhovují požadavkům dle normy ČSN 73 0540-2, budou v následující kapitole upraveny tak, aby bylo dosaženo požadovaných či doporučených parametrů součinitele prostupu tepla.

7. Výsledky a diskuse

7.1. Výpočet tepelných ztrát objektu

Výpočet tepelných ztrát objektu vychází ze součtu tepelných ztrát prostupem všech konstrukcí a tepelných ztrát větráním vytápěného prostoru.

7.1.1. Výpočet návrhové tepelné ztráty

Pro výpočet návrhové tepelné ztráty objektu bude použita norma ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění. Jelikož se jedná o stávající rodinný dům, bude použita zjednodušená metoda výpočtu po jednotlivých místnostech dle vzorců (3), (4), (5).

Celková tepelná ztráta

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \text{ [W]} \quad (3)$$

Kde je:

$$\Phi_{T,i} \quad \text{návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)} \quad \text{[W]}$$

$$\Phi_{V,i} \quad \text{návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i)} \quad \text{[W]}$$

Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru

$$\Phi_{T,i} = \sum_k \Phi_{T,k} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{x,k}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ [W]} \quad (4)$$

Kde je:

$$\Phi_{T,k} \quad \text{tepelná ztráta prostupem stavební části (k)} \quad \text{[W]}$$

$$A_k \quad \text{plocha stavební části (k)} \quad \text{[m}^2\text{]}$$

$$U_k \quad \text{součinitel prostupu tepla stavební části (k)} \quad \text{[W/(m}^2\text{·K)]}$$

$$f_{x,k} \quad \text{teplotní opravný činitel (k)}$$

Tento koeficient zohledňuje rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou místnosti a venkovní výpočtovou teplotou, který bude určen dle tabulky B.11 normy ČSN EN 12831-1.

$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i)	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
θ_x	teplota sousedního prostoru nebo prostředí	[°C]

Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru

$$\Phi_{V,i} = V_i \cdot n_i \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Kde je:

V_i	vnitřní objem vytápěného prostoru (i)	[m ³]
n_i	intenzita větrání vytápěného prostoru (i)	[h ⁻¹]
$\rho_a \cdot c_{p,a}$	součin hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu	[Wh/(m ³ ·K)]

Součin ρ_a a $c_{p,a}$ jsou ve zjednodušeném postupu výpočtu uvažovány jako konstanty s hodnotou 0,34.

Typový výpočet tepelných ztrát

V tab. 11 je názorně uveden výpočet tepelných ztrát typové místnosti č. 1.6 – kuchyně s jídelnou, který vychází z rovnic (3), (4) a (5).

Tab. 11 Výpočet tepelné ztráty místnosti č. 1.6

Typová místnost č. 1.6 - kuchyně s jídelnou				
Teplotní výpočtové hodnoty				
Venkovní výpočtová teplota		θ_e		-15 °C
Vnitřní výpočtová teplota		θ_{int}		20 °C
Tepelné ztráty prostupem				
Druh konstrukce	A_k [m ²]	U_k [W/m ² K]	$f_{x,k}$	$A_k \cdot U_k \cdot f_{x,k}$
Obvodové stěny	24,25	0,22	1,00	5,34
Vnitřní příčky	31,13	1,52	1,00	47,31
Okna	4,83	2,50	1,00	12,07
Vnitřní dveře	1,64	2,50	1,00	4,11
Podlaha	26,67	0,53	0,30	4,24
Celkem tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]				2 557,34
Tepelné ztráty větráním				
Objem vytápěného prostoru		V_i [m ³]		66,68
Intenzita větrání		n_i [h ⁻¹]		0,5
Součin hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu		$\rho_a \cdot c_{p,a}$		0,34
Celkem tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]				396,76

Celkové tepelné ztráty rodinného domu

V následující tab. 12 jsou uvedeny hodnoty tepelných ztrát po jednotlivých místnostech a jejich celkový součet.

Tab. 12 Celkové tepelné ztráty rodinného domu

Podlaží	č. m.	Název místnosti	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Celková tepelná ztráta $\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$
1.NP	1.1	Vstupní chodba	747,67	39,6406	787,31
	1.2	Technická místnost	1 000,27	106,5339	1 106,80
	1.3	Garáž	994,55	110,73375	1 105,29
	1.4	Sklad náradí	597,42	31,2375	628,66
	1.5	Koupelna s WC	1 078,43	50,35485	1 128,78
	1.6	Kuchyně s jídelnou	2 557,34	396,7579	2 954,10
	1.7	Chodba	805,43	24,225	829,66
	1.8	Pokoj pro hosty	1 302,94	122,6771	1 425,62
2.NP	2.1	Chodba	1 103,14	52,68	1 155,83
	2.2	Koupelna s WC	1 173,92	66,30	1 240,22
	2.3	Ložnice 1	1 752,42	195,64	1 948,06
	2.4	Ložnice 2	1 558,60	173,58	1 732,18
	2.5	Ložnice 3	1 724,79	192,33	1 917,12
	2.6	Obývací pokoj	2 219,60	308,70	2 528,30
Podkroví	3.1	Podkroví	5 862,75	232,05	6 094,80
Celkem jednotlivé tepelné ztráty [W]			24 479,27	2 103,45	26 582,72

Celkové tepelné ztráty rodinného domu, tedy součet celkové tepelné ztráty prostupem a celkové tepelné ztráty větráním, jsou $\Phi_i = 26 582,72 \text{ W}$.

7.1.2. Výpočet návrhového tepelného výkonu pro vytápění

Dodatečný zátopový tepelný výkon

Dodatečný zátopový tepelný výkon je vyžadován v prostorech s přerušovaným vytápěním za účelem dosažení určité vnitřní teploty v přijatelném čase. V tab. 13 jsou uvedeny zátopové výkony pro jednotlivé místnosti a jejich celkový součet dle vzorce (6).

$$\Phi_{hu,i} = A_i \cdot \varphi_{hu,i} \text{ [W]} \quad (6)$$

Kde je:

$\Phi_{hu,i}$	dodatečný zátopový tepelný výkon	[W]
A_i	podlahová plocha místnosti (i)	[m ²]
$\varphi_{hu,i}$	měrný zátopový výkon místnosti (i)	[W/m ²]

Měrný zátopový výkon byl určen dle tabulky č. F.2 v příloze F normy ČSN EN 12831-1.

Tab. 13 Výpočet dodatečného zátopového výkonu

Podlaží	č. m.	Název místnosti	Plocha místnosti A_i [m ²]	Měrný zátopový výkon $\varphi_{hu,i}$ [W/m ²]	Celkový zátopový výkon $A_i \cdot \varphi_{hu,i}$
1.NP	1.1	Vstupní chodba	4,66	21,00	83,94
	1.2	Technická místnost	8,36		150,40
	1.3	Garáž	13,03		234,50
	1.4	Sklad nářadí	3,68		66,15
	1.5	Koupelna s WC	3,04		54,68
	1.6	Kuchyně s jídelnou	26,67		480,11
	1.7	Chodba	1,90		34,20
	1.8	Pokoj pro hosty	8,25		148,45
2.NP	2.1	Chodba	4,13	74,38	
	2.2	Koupelna s WC	4,00	72,00	
	2.3	Ložnice 1	13,15	236,74	
	2.4	Ložnice 2	11,67	210,04	
	2.5	Ložnice 3	12,93	232,74	
	2.6	Obývací pokoj	20,75	373,55	
Celkem dodatečný zátopový tepelný výkon $\Phi_{hu,i}$ [W]					2 860,54

Celkový návrhový tepelný výkon pro vytápění

Dle vzorce (7) určíme celkový návrhový tepelný výkon pro vytápění, jako součet tepelné ztráty prostupem, tepelné ztráty větráním a dodatečného zátopového výkonu.

$$\Phi_{HL} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} \text{ [W]} \quad (7)$$

$$\Phi_{HL} = 24\,479,27 + 2\,103,45 + 2\,860,54$$

$$\Phi_{HL} = \mathbf{29\,443,26\ W}$$

Kde je:

Φ_{HL} návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor [W]

7.1.3. Výpočet roční spotřeby tepla pro vytápění

Pro výpočet roční spotřeby tepla pro vytápění bude využita denostupňová metoda dle vzorce (8), která slouží pro hodnocení tepelně technického stavu objektu a stability hospodaření s tepelnou energií. Tato metoda vychází z tepelných ztrát budovy a klimatických podmínek místa stavby. Bere v úvahu faktory nočního omezeného provozu, schopnost akumulace objektu a nesoučasnosti tepelné ztráty prostupem a infiltrací (Výpočet roční potřeby tepla, 2021).

$$Q_{VYT,r} = \frac{24 \cdot \Phi_{HL} \cdot \varepsilon \cdot D}{\theta_{int} - \theta_e} \text{ [kWh/rok]} \quad (8)$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{24 \cdot 29,443 \cdot 0,79 \cdot 2\,506}{20 + 15} = 39\,970,29 \text{ kWh/rok}$$

Kde je:

$Q_{VYT,r}$ roční potřeba tepla [kWh/rok]

Φ_{HL} návrhový tepelný výkon [kW]

D počet denostupňů dle vzorce: [den·K]

$$D = d \cdot (\theta_{int,s} - \theta_{e,s}) \text{ [den·K]} \quad (9)$$

$$D = 228 (16,29 - 5,3) = 2\,506$$

d počet dnů topného období [den]

θ_{int} vnitřní výpočtová teplota – vážený průměr vnitřních výpočtových teplot dle objemů místností [°C]

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

$\theta_{int,s}$ průměrná teplota v prostředí budovy [°C]

$\theta_{e,s}$ venkovní průměrná teplota v otopném období [°C]

ε opravný součinitel na snížení teploty, zkrácení doby vytápění, nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem dle vzorce: [-]

$$\varepsilon = \frac{e_i \cdot e_t \cdot e_d}{\eta_o \cdot \eta_r} \quad (10)$$

$$\varepsilon = \frac{0,8 \cdot 0,9 \cdot 1}{0,95 \cdot 0,96} = 0,79$$

Kde je:

e_i	součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem, volí se hodnota v rozmezí 0,8 – 0,9
e_t	součinitel na snížení teploty v místnosti během noci či dne, 0,8 – 1,0
e_d	součinitel pro provoz budovy s přestávkami, pro sedmidenní provoz se volí hodnota 1,0; pro pětidenní provoz je hodnota 0,8
η_o	účinnost regulace soustavy, hodnoty 0,9 – 1,0
η_r	účinnost rozvodů vytápění, hodnoty 0,95 – 0,98

7.2. Návrh na snížení energetické náročnosti objektu

Dle výsledných součinitelů prostupu tepla v kapitole č. 6 nám nevyhovují doporučeným či požadovaným hodnotám: skladba vnějšího pláště budovy, některé skladby podlah nad terénem, výplně otvorů, skladba stropu nad 2.NP a střešní konstrukce.

Při návrhu nových skladeb a konstrukcí se budeme řídit doporučenými hodnotami součinitelů prostupu tepla, kromě skladby podlahy nad terénem, zde budeme vycházet z požadované hodnoty součinitele dle normy ČSN 73 0540-2. Výpočty nově navržených skladeb budou opět počítány interaktivní kalkulačkou na stránkách stavba.tzb-info.cz, která je naprogramována v souladu s normou ČSN 73 0540-4.

7.2.1. Návrh nového zateplení obvodového pláště

Součinitel prostupu tepla stávající skladby obvodového pláště je dle kapitoly č. 4.4.1 $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což je pouze o $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vyšší hodnota, než je hodnota součinitele doporučená, tedy $U_{\text{rec}} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Pro dosažení doporučené hodnoty by bylo nutné odstranit stávající zateplovací systém až na úroveň dřevotřískových desek a provést nové zateplení s větší tloušťkou tepelné izolace včetně nové finální omítky. V tab. 14 je uvedena nová skladba s větší tloušťkou tepelné izolace oproti původní skladbě.

Tab. 14 Nová skladba vnějšího pláště budovy

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Vnější silikonová omítka	0,015	0,7
2	Tepelná izolace EPS	0,15	0,038
3	Dřevotřísková deska	0,017	0,18
4	Minerální tepelná izolace	0,076	0,041
5	PE fólie	0,0001	0,35
6	Dřevotřísková deska	0,017	0,18
7	Vnitřní vápenocementová omítka	0,01	0,99

Výsledný součinitel prostupu tepla s novým zateplením je dle skladby v tab. č. 14 $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což dle normy ČSN 73 0540-2 vyhovuje dokonce i doporučené hodnotě pro pasivní budovy $U_{\text{pas}} = 0,18 - 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Náklady na provedení nové skladby fasády jsou uvedeny v tab. 15 a tab. 16. Jednotkové ceny materiálů jsou voleny dle aktuálních cen uvedených na stránkách stavebnin DEK a.s.

Tab. 15 Nová skladba vnějšího pláště budovy - náklady

	Fasádní polystyren DEK EPS 70F	Weber tmel 700 - lepidlo na polystyren	Fasádní hmoždinka do desek OSB, Cetris Ejothem STR H 180	Systémová polystyrenová zátka malá STR PS
Tloušťka [mm]	150	-	-	-
Potřebné množství	150 m ²	525 kg	900 ks	900 ks
Jednotková cena materiálu [Kč/m ² ; Kč/kg; Kč/kus]	233,75	5,76	16,52	0,52
Jednotková cena montáže [Kč/m ² ; Kč/kg; Kč/kus]	150,00	10,0	9,0	0,18
Materiál + montáž celkem [Kč]	57 562,50	8 274,00	22 968,00	631,80
Celkové náklady [Kč]	89 436,30			

Tab. 16 Nová skladba vnějšího pláště budovy - náklady (pokračování)

	Weber tmel 700 - stěrkování	Skleněná tkanina VERTEX R117 145 g/m ²	Penetrační nátěr weberpas podklad S	Silikonová omítka Weber
Tloušťka [mm]	-	-	-	1,5 – 3,00
Potřebné množství	600 kg	150 m ²	150 m ²	150 m ²
Jednotková cena materiálu [Kč/m ² ; Kč/kg; Kč/kus]	5,76	18,15	12,83	170,92
Jednotková cena montáže [Kč/m ² ; Kč/kg; Kč/kus]	10,00	10,00	5,00	160
Materiál + montáž celkem [Kč]	9 456,00	4 222,50	2 674,29	49 637,40
Celkové náklady [Kč]	65 990,19			

Na základě orientačního časového ukazatele prací určíme množství normohodin potřebných pro provedení kompletního zateplení fasády. Počet normohodin pro montáž izolace je 0,66 Nh/m², počet normohodin pro provedení omítky je 0,51 Nh/m² (Orientační časové ukazatele prací a dodávek v hod. / 1 prac. (stroj)).

Součet těchto hodnot vynásobíme výměrou fasády. Tím získáme celkové množství hodin, které vydělíme délkou jedné směny, tedy 8 hodinami a dostaneme počet pracovních dnů. Počet pracovních dní vydělíme počtem pracovníků a tím zjistíme orientační dobu výstavby fasády.

$$\text{Počet dnů} = (0,66 + 0,51) \cdot 150 = 175,5 \text{ hod}$$

$$\text{Počet dnů} = 175,5 / 8 = 21,94 \text{ dnů} / 5 \text{ osobami} = 4,4 \text{ dnů} \quad (11)$$

Pronájem fasádního lešení tedy bude uvažován zaokrouhleně na 5 dní. Montáž, demontáž a pronájem lešení jsou vyčísleny v tab. 17.

Tab. 17 Náklady na pronájem lešení

	Výměra [m ²]	Jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
Montáž lešení vč. manipulace a dopravy na stavbu	150	45,00	6 750,00
Demontáž lešení vč. manipulace a dopravy ze stavby	150	25,00	3 750,00
Pronájem lešení na 5 dní	750	1,50	1 125,00
Cena celkem bez DPH [Kč]			11 625,00

Celková cena zhotovení nové úspornější skladby fasády je 155 427,-Kč. Cena demontáže a likvidace stávající skladby fasády se na základě zkušenosti z realizace pohybuje okolo 20-30 % z ceny nové fasády, tedy 46 628,-Kč. Kompletní cena výměny fasádního pláště je předpokládána 202 055,-Kč.

7.2.2. Návrh nové skladby podlahy nad terénem

Dosažení požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $U_N = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ u podlahy přilehlé k zemině vytápěného prostoru (tab. 18), zajistíme přidáním druhé vrstvy tepelné izolace XPS tl. 20 mm. Celková tloušťka tepelné izolace tak bude 70 mm.

Tab. 18 Nová skladba podlahy nad terénem – laminátová podlaha

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Laminátová podlaha	0,008	0,21
2	Izolace Mirelon	0,002	0,038
3	Dřevotřísková deska	0,018	0,18
4	Tepelná izolace XPS	0,020	0,038
5	Tepelná izolace XPS	0,050	0,038
6	Hydroizolace	0,004	0,21
7	Betonová deska + kari síť	0,150	1,43
8	Štěrkový podsyp	0,100	2

Výsledný součinitel této upravené skladby dle tab. 18 je $U = 0,42 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, tedy vyhovuje požadované hodnotě uvedené výše.

Pro výpočet nákladů na zateplení podlahy nad terénem (tab. 19) uvažujeme s demontáží stávající skladby až na úroveň tepelné izolace XPS tl. 50 mm. Nová skladba bude provedena přidáním tepelné izolace ISOVER T-P tl. 20 mm, novým záklopem z dřevotřískových desek, novou izolací Mirelon a novou laminátovou podlahou.

Tab. 19 Nová skladba podlahy nad terénem - náklady

	Laminátová podlaha	Izolace Mirelon	Deska EGGER OSB 3, 18 mm	Izolace kročejová ISOVER T-P 20 mm
Tloušťka [mm]	8,00	2,00	18,00	20,00
Potřebné množství [m ²]	35	35	35	35
Jednotková cena materiálu [Kč/m ²]	300,00	15,00	181,5	76,5
Jednotková cena montáže [Kč/m ²]	207,00	10,00	50,00	60,00
Materiál + montáž celkem [Kč]	17 745,00	875,00	8 102,50	4 777,50
Demontáž a likvidace stávající skladby [Kč]	7 875,00			
Celkové náklady [Kč]	39 375,00			

Výše uvedená úprava skladby podlahy byla provedena pouze v místnostech č. 1.6 – kuchyně s jídelnou a č. 1.8 – pokoj pro hosty. Skladba podlahy v místnosti č. 1.5 – koupelna s WC sice nevyhovuje požadavkům normy ČSN 73 0540-2, ale vzhledem k ploše této místnosti a pracnosti se zateplením, které by obnášelo: demontáž a likvidaci stávající keramické dlažby včetně podkladu, doplnění novou tepelnou izolací, zhotovení nového litého potěru, a nakonec montáž nové dlažby, nebudeme zde uvažovat rekonstrukci.

7.2.3. Návrh nové skladby stropu nad 2.NP

Jelikož podkroví nově uvažujeme jako obytnou místnost, není potřeba významně měnit skladbu stropu, ale je nutné provést finální povrchovou úpravu podlahy. Skladbu stropu nad 2.NP tedy zachováme a pouze doplníme izolací Mirelon a laminátovou podlahou (tab. 20), tak jako je skladba stropu nad 1.NP. V tab. 21 jsou uvedeny předpokládané náklady na novou povrchovou úpravu podlahy.

Tab. 20 Nová skladba stropu nad 2.NP

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Laminátová podlaha	0,008	0,21
2	Izolace Mirelon	0,002	0,038
3	Dřevotřísková deska	0,018	0,11
4	Vzduchová mezera	0,026	0,026
5	Minerální tepelná izolace	0,050	0,041
6	Dřevotřísková deska	0,018	0,18
7	Vnitřní vápenocementová omítka	0,010	0,99

Součinitel prostupu tepla této nové skladby pro strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C (tab. 20) je $U = 0,51 W/(m^2 \cdot K)$, a to vyhovuje doporučené hodnotě součinitele $U_{rec} = 1,45 W/(m^2 \cdot K)$.

Tab. 21 Materiály a ceny nové podlahy v podkroví

	Laminátová podlaha	Izolace Mirelon
Tloušťka [mm]	8,00	2,00
Potřebné množství [m ²]	70,00	70,00
Jednotková cena materiálu [Kč/m ²]	300,00	15,00
Jednotková cena montáže [Kč/m ²]	207,00	10,00
Materiál + montáž [Kč]	35 490,00	1 750,00
Celkové náklady [Kč]	37 240,00	

7.2.4. Návrh zateplení střešní konstrukce

Stávající skladba střechy je nezateplená konstrukce. Jestliže chceme podkroví využívat jako obytnou místnost, musíme provést důkladné zateplení a odizolování od vlhkosti.

Stávající krytina je v relativně dobrém stavu, z tohoto důvodu provedeme pouze zateplení mezi jednotlivými vazníky, dodatečnou tepelnou izolaci pod vazníky a opláštíme sádrokartonovými deskami, tak jako je schematicky uvedeno na obr. 28.

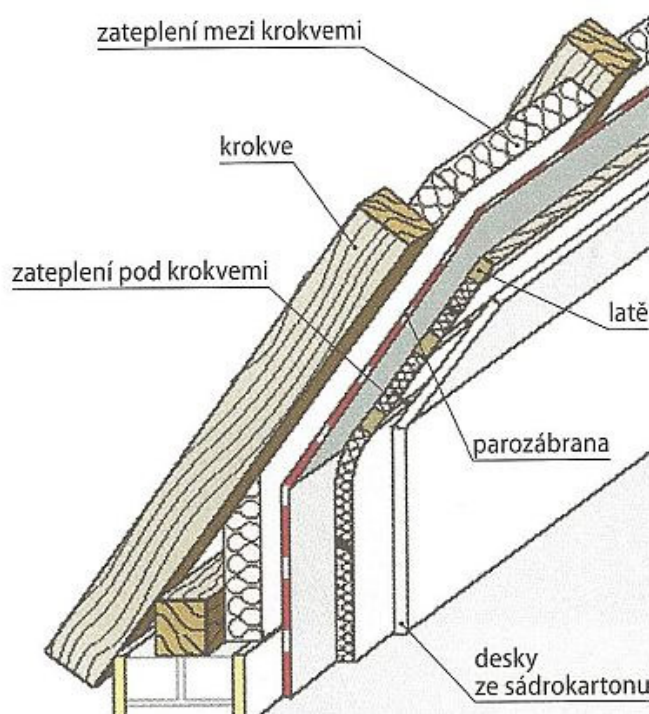
Nejprve je natažena difúzně propustná fólie DEKTEN PRO PLUS, která zachytí a odvede vodu proniklou pod krytinu. Dále mezi pásnice vazníku o rozměrech 250 / 80 mm, použijeme tepelnou izolaci tl. 250 mm ze skelné plsti ISOVER UNIROL PROFI. Následuje připevnění parozábrany DEKFOL N 110 STANDARD, poté provedení rastru z latí o rozměrech 60 / 40 mm a vložení mezi jednotlivé latě tepelnou izolaci ISOVER UNIROL PROFI tl. 40 mm, a nakonec je provedeno opláštění sádrokartonovými deskami Rigips RB tl. 9,5 mm.

Dle tloušťky jednotlivých materiálů a jejich součinitelů tepelné vodivosti v tab. 22 je celkový součinitel prostupu tepla po zateplení $U = 0,11 W/(m^2 \cdot K)$, což vyhovuje dokonce i doporučené hodnotě pro pasivní budovy $U_{pas} = 0,15 W/(m^2 \cdot K)$.

Tab. 22 Návrh zateplení střešní konstrukce

č.p.	Materiál skladby	d [m]	λ [W/mK]
1	Sádrokartonové desky Rigips RB	0,0095	0,21
2	Tepelná izolace mezi latěmi ISOVER UNIROL PROFI role	0,040	0,033
3	Parozábrana DEKFOL N 110 STANDARD	0,00022	0,35
4	Tepelná izolace mezi vazníky ISOVER UNIROL PROFI role	0,250	0,033
5	Difúzně propustná fólie DEKTEN PRO PLUS	0,0006	0,35

Obr. 28 Návrh zateplení střešní konstrukce



Zdroj: https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/rekonstrukce-podkrovi/20633-priklady-zatepleni-podkrovi-a.html#YE49RZ1KiUK

V tab. 23 jsou uvedeny náklady na materiál a montáž jednotlivých vrstev, potřebné množství a celkové náklady na zateplení střešní konstrukce.

Tab. 23 Materiály a jejich ceny pro nové zateplení střešní konstrukce

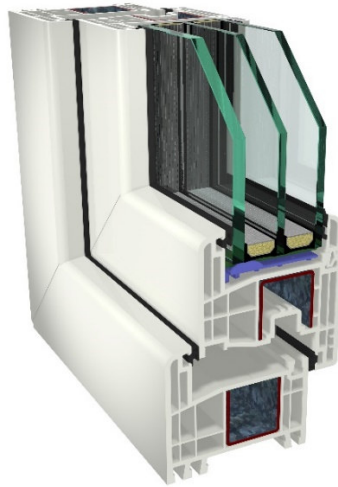
	Sádrokartonové desky Rigips RB	Tepelná izolace ISOVER UNIROL PROFI role	Parozábrana DEKFOL N 110 STANDARD	Tepelná izolace ISOVER UNIROL PROFI role	Difúzně propustná fólie DEKTEN PRO PLUS
Tloušťka [mm]	9,5	40	0,22	250	0,6
Potřebné množství [m ²]	98	98	98	98	98
Jednotková cena materiálu [Kč/m ²]	46,65	38,28	14,02	239,25	53,56
Jednotková cena montáže [Kč/m ²]	100,00	55,00	10,00	90,00	100,00
Materiál + montáž [Kč]	14 371,70	9 141,44	2 353,96	32 266,50	15 048,88
Celkové náklady [Kč]	73 182,48				

7.2.5. Výměna oken a vstupních dveří

Stávající okenní výplně otvorů výrazně nesplňují doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla, z tohoto důvodu budou vyměněna za nová plastová okna s trojsklem, které mají součinitel minimálně $U = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Na obr. 29 je zobrazen řez nově navrženým oknem, či balkónovými dveřmi.

Cena dodávky a montáže nových plastových oken s trojsklem se aktuálně pohybuje okolo 4 500,-Kč/m². Celková plocha výplní otvorů bez vstupních dveří a garážových vrat je 19,00 m². Cena nových výplní otvorů tedy činí 85 500,-Kč. Náklady na demontáž a likvidaci stávajících výplní otvorů se opět pohybuje okolo 20-30 % z ceny nových oken, tj. 17 100,-Kč. Předpokládaná cena kompletní výměny výplní otvorů tedy činí 102 600,-Kč bez DPH.

Obr. 29 Řez plastovým oknem s trojsklem



Zdroj: <https://www.svet-oken.cz/cz/plastova-okna/gealan-s-8000-iq-74-thermo-rovne.html>

Vstupní dveře do rodinného domu budou také plastové, částečně prosklené s kvalitním kováním a součinitelem $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Předpokládaná cena dodávky a montáže nových vstupních dveří (obr. 30) je na základě ceníku dodavatele Svět Oken s.r.o. 16 000,-Kč bez DPH.

Obr. 30 Vstupní dveře do objektu



Zdroj: <https://www.svet-oken.cz/cz/plastove-dvere.html#noopener-25>

7.3. Posouzení účinnosti snížení energetické náročnosti objektu

Tab. 24 Celkové tepelné ztráty objektu před a po zateplení

Podlaží	č. m.	Název místnosti	Tepelná ztráta původního stavu [W]	Tepelná ztráta po snížení energetické náročnosti [W]	Rozdíl tepelných ztrát [W]
1.NP	1.1	Vstupní chodba	787,31	733,60	53,70
	1.2	Technická místnost	1 106,80	1 050,54	56,26
	1.3	Garáž	1 105,29	1 082,40	22,89
	1.4	Sklad náradí	628,66	624,16	4,50
	1.5	Koupelna s WC	1 128,78	1 121,53	7,25
	1.6	Kuchyně s jídelnou	2 954,10	2 601,95	352,16
	1.7	Chodba	829,66	829,66	0,00
	1.8	Pokoj pro hosty	1 425,62	1 240,16	185,46
2.NP	2.1	Chodba	1 155,83	1 155,83	0,00
	2.2	Koupelna s WC	1 240,22	1 193,11	47,11
	2.3	Ložnice 1	1 948,06	1 761,57	186,48
	2.4	Ložnice 2	1 732,18	1 620,54	111,64
	2.5	Ložnice 3	1 917,12	1 731,48	185,64
	2.6	Obývací pokoj	2 528,30	2 260,84	267,47
Podkroví	3.1	Podkroví	6 094,80	923,34	5 171,46
Celkem tepelné ztráty [W]			26 582,72	19 930,69	6 652,03

Z vypočtených hodnot tepelných ztrát v tab. 24 je zřejmé, že došlo k velké úspoře úniku tepla z původních 26,58 kW na 19,93 kW, tedy úspora celkové tepelné ztráty je po rekonstrukci 6,65 kW. V tab. 25 je zobrazeno porovnání tepelných ztrát původního stavu objektu a nového stavu po provedení navrženého zateplení.

Tab. 25 Bilance tepelných ztrát původního stavu objektu a po zateplení objektu

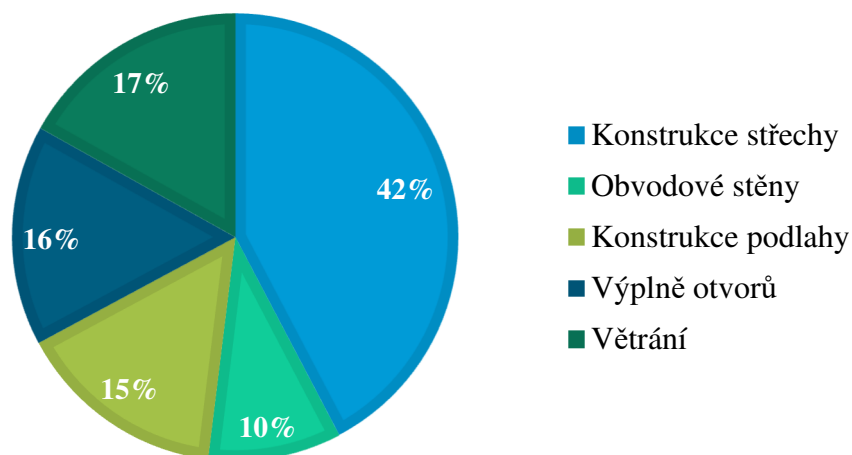
	Konstrukce střechy [W]	Obvodové stěny [W]	Konstrukce podlahy [W]	Výplně otvorů [W]	Větrání [W]
Původní stav	5 265,00	1 201,87	1 893,17	1 982,91	2 103,45
Nový stav	148,50	874,08	1 810,84	857,49	2 103,45

Největší úspory úniku tepla do okolního prostředí, tj. téměř 5,2 kW, bylo dosaženo v podkroví, kde původně nebyla zateplená střešní konstrukce. Další výrazná úspora úniku tepla o 1,12 kW, vznikla výměnou původních výplní otvorů za nové. Poslední výraznější úspora byla

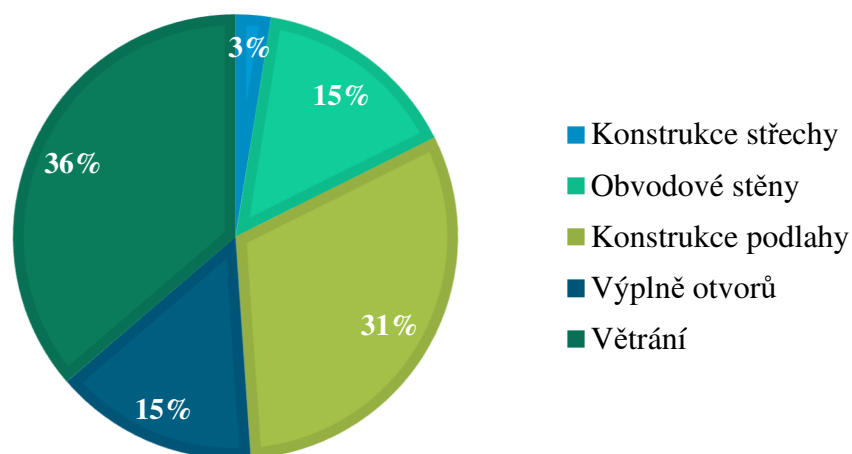
zajištěna u obvodových stěn výměnou stávajícího zateplovacího systému za nový s větší tloušťkou tepelné izolace. Úspora tepelné ztráty je zde 0,33 kW.

Graf 1 a graf 2 zobrazují procentuální bilanci tepelných ztrát dle jednotlivých konstrukcí a povrchů původního stavu objektu a stavu po zateplení. Procentuální vyčíslení vychází z hodnot v tab. 25.

Graf 1 Bilance tepelných ztrát původního stavu objektu



Graf 2 Bilance tepelných ztrát po rekonstrukci objektu



7.4. Tepelné ztráty objektu po snížení energetické náročnosti

Dodatečný zátopový tepelný výkon po zateplení objektu

Vlivem nového zateplení objektu dojde ke snížení poklesu vnitřní teploty v průběhu teplotního útlumu. Z tohoto důvodu zvolíme pro výpočet nižší hodnotu měrného zátopového výkonu dle tabulky č. F.2 v příloze F normy ČSN EN 12831-1. Výpočet vychází ze vzorce (7). Celkový dodatečný zátopový tepelný výkon po zateplení objektu je uveden v tab. 26 a činí 1 362,16 W.

Tab. 26 Výpočet dodatečného zátopového výkonu po zateplení objektu

Podlaží	č. m.	Název místnosti	Plocha místnosti A_i [m ²]	Měrný zátopový výkon $\varphi_{hu,i}$ [W/m ²]	Celkový zátopový výkon $A_i \cdot \varphi_{hu,i}$
1.NP	1.1	Vstupní chodba	4,66	10,00	46,64
	1.2	Technická místnost	8,36		83,56
	1.3	Garáž	13,03		130,28
	1.4	Sklad nářadí	3,68		36,75
	1.5	Koupelna s WC	3,04		30,38
	1.6	Kuchyně s jídelnou	26,67		266,73
	1.7	Chodba	1,90		19,00
	1.8	Pokoj pro hosty	8,25		82,47
2.NP	2.1	Chodba	4,13		41,32
	2.2	Koupelna s WC	4,00		40,00
	2.3	Ložnice 1	13,15		131,52
	2.4	Ložnice 2	11,67		116,69
	2.5	Ložnice 3	12,93		129,30
	2.6	Obývací pokoj	20,75		207,53
Celkem dodatečný zátopový tepelný výkon $\Phi_{hu,i}$ [W]					1 362,16

Celkový tepelný výkon pro vytápění po zateplení objektu

Postup výpočtu pro celkový tepelný výkon je stejný jako výpočet pro stávající stav objektu, který vychází ze vzorce (7).

$$\Phi_{HL} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i}$$

$$\Phi_{HL} = 17\,827,24 + 2\,103,45 + 1\,362,16$$

$$\Phi_{HL} = \mathbf{21\,292,85\ W}$$

7.5. Výpočet roční spotřeby tepla objektu po snížení energetické náročnosti

Výpočet roční spotřeby tepla pro vytápění bude vycházet ze stejného postupu jako ve variantě před zateplením, tedy ze vzorce (8).

$$Q_{VYT,r} = \frac{24 \cdot Q_c \cdot \varepsilon \cdot D}{\theta_{int} - \theta_e}$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{24 \cdot 21,292 \cdot 0,79 \cdot 2\,506}{20 + 15} = \mathbf{28\,905,81 \text{ kWh/rok}}$$

Vlivem navrženého zateplení jednotlivých konstrukcí vznikla velká úspora potřeby tepla pro vytápění. Z původní hodnoty 39 970 kWh/rok na hodnotu 28 906 kWh/rok, to je pokles o 11 064 kWh/rok, tedy více než o jednu čtvrtinu.

7.6. Posouzení výměny zdroje vytápění

7.6.1. Stávající způsob vytápění

V objektu se nyní nachází kotel DAKON URS-24 na tuhá paliva o výkonu 24 kW, který se již 7 let nevyužívá z důvodu pracnosti se skladováním tuhých paliv, díky poměrně nízké ceně elektrické energie a také díky mírnému průběhu zimního období v posledních několika letech.

Pro vytápění je využíván elektrokotel DUKO značky Kopřiva Praha o výkonu 12 kW, provozním tlaku 200 kPa a maximální provozní teplotě 85 °C. Na obr. 31 a obr. 32 jsou fotografie stávajících kotlů.

Obr. 32 Stávající elektrokotel DUKO



Zdroj: vlastní fotodokumentace autora

Obr. 31 Stávající kotel na tuhá paliva DAKON URS-24



Zdroj: vlastní fotodokumentace autora

Teplosměnné médium cirkuluje za pomoci čerpadla ještě v původním ocelovém potrubí z roku 1988. Otopná tělesa (obr. 33), jsou také původní bez termostatických ventilů, které by zajišťovaly automatickou regulaci vytápění dané místnosti a tím tak šetřily energii na vytápění.

Obr. 33 Stávající otopné těleso



Zdroj: vlastní fotodokumentace autora

Z návrhů na snížení energetické náročnosti objektu v kapitole č. 7.2 vyplývá značná úspora energie potřebné pro vytápění, z původních 29,4 kW na hodnotu 21,3 kW. Vlivem této úspory je vhodné provést výměnu stávajícího kotle a výměru starých otopných těles za novou úspornější alternativu.

7.6.2. Návrh úpravy zdroje vytápění a otopné soustavy

V lokalitě řešeného rodinného domu není zavedena přípojka plynovodu, nelze tedy použít plynový kondenzační kotel. Stávající elektrokotel zachováme a vyměníme pouze kotel na tuhá paliva za nový moderní kotel o výkonu 16 kW. Výkon elektrokotle v součtu s výkonem kotle na tuhá paliva bude celkem 28 kW, což dostatečně pokrývá energetickou potřebu pro vytápění 21,3 kW.

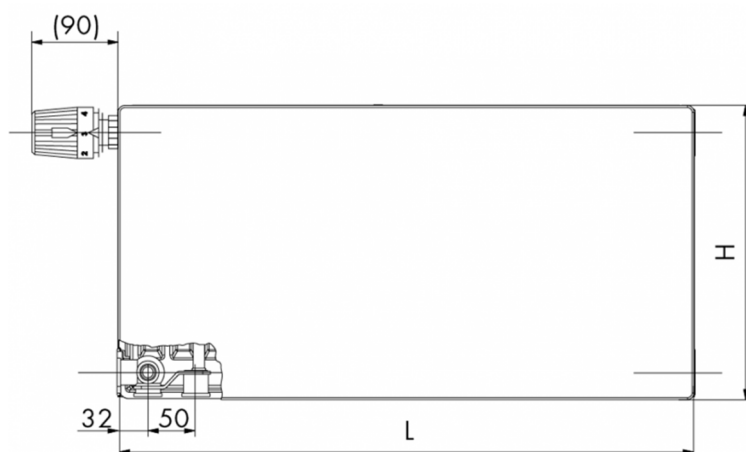
U starších budov s kotlem na tuhá paliva byly běžně navrhovány otopné soustavy s teplotním spádem 90/70 °C. Pro návrh nových otopných těles budeme uvažovat teplotní spád 75/60 °C. (Otopná tělesa jako příčina doplnění zdroje tepla z kotlíkových dotací kotlem na uhlí, 2021).

Během návrhu nových radiátorů je nutné respektovat tři základní požadavky, tak abychom dodrželi tepelnou pohodu člověka. Prvním požadavkem je délka otopného tělesa, která by měla být stejná jako je šířka přilehlého okna. Tím zaručíme kompenzaci studených proudů z okna klesajících k podlaze. Dalším požadavkem je „*součin průměrné čelní plochy tělesa a rozdílu mezi střední teplotou otopného tělesa a vnitřního vzduchu se musí nejméně rovnat součinu plochy okna s rozdílem teploty vnitřního vzduchu a teploty povrchu okna*“. Posledním

požadavkem je tepelný výkon radiátoru, který by měl být minimálně roven návrhovému tepelnému výkonu dané místnosti (Bašta, 2016).

Stávající radiátory budou nahrazeny úspornými deskovými otopnými tělesy s hladkou čelní deskou KORADO RADIK PLAN VKL s levým spodním připojením na otopnou soustavu (obr. 34).

Obr. 34 Deskové otopné těleso KORADO RADIK PLAN VKL



Zdroj: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-plan-vkl.html>

Na základě výše uvedených požadavků jsou zvoleny následující typy otopných těles, uvedených v tab. 27. Byly použity druhy RADIK Typ 21 PLAN VKL a RADIK Typ 22 PLAN VKL, které se od sebe liší svou hloubkou a počtem lamel. Typ 21 má hloubku 68 mm a Typ 22 má hloubku 102 mm (RADIK PLAN VKL).

Tepelné výkony jednotlivých radiátorů byly převzaty z tabulky Výpočet tepelných výkonů na internetové stránce korado.cz při tepelném spádu 75/60 °C. Radiátor s největším výkonem 1 321 W byl požit v místnosti č. 1.6 – kuchyně s jídelnou, jelikož jsou zde největší tepelné ztráty. Naopak radiátor s nejnižším výkonem 922 W byl umístěn do místností č. 2.3 – Ložnice 1 a 2.5 – Ložnice 3.

Tab. 27 Typy zvolených otopných těles

Typ otopného tělesa	Rozměry [mm]	Tepelný výkon [W]
RADIK Typ 21 PLAN VKL	500 x 1 100	1 090
RADIK Typ 21 PLAN VKL	600 x 1 000	1 142
RADIK Typ 22 PLAN VKL	500 x 1 000	1 321
RADIK Typ 21 PLAN VKL	600 x 1 100	1 256
RADIK Typ 21 PLAN VKL	400 x 1 100	922
RADIK Typ 22 PLAN VKL	600 x 1 100	1 676
RADIK Typ 21 PLAN VKL	500 x 1 200	1 189

Při návrhu bude zachováno stejné množství radiátorů v jednotlivých místnostech tak jako ve stávající otopné soustavě. Jejich počet je uvedeno v tab. 28.

Tab. 28 Typy použitých otopných těles v jednotlivých místnostech

č.m.	Účel místnosti	Tepelné ztráty [W]	Typy otopných těles RADIK	Počet otop. těles
1.1	Vstupní chodba	733,60	-	-
1.2	Technická místnost	1 050,54	RADIK typ 21 PLAN VKL 500 x 1100	1
1.3	Garáž	1 082,40	-	-
1.4	Sklad nářadí	624,16	-	-
1.5	Koupelna s WC	1 121,53	RADIK typ 21 PLAN VKL 600 x 1000	1
1.6	Kuchyně s jídelnou	2 601,95	RADIK typ 22 PLAN VKL 500 x 1000	2
1.7	Chodba	829,66	-	-
1.8	Pokoj pro hosty	1 240,16	RADIK typ 21 PLAN VKL 600 x 1100	1
2.1	Chodba	1 155,83	-	-
2.2	Koupelna s WC	1 193,11	RADIK typ 21 PLAN VKL 600 x 1000	1
2.3	Ložnice 1	1 761,57	RADIK typ 21 PLAN VKL 400 x 1100	2
2.4	Ložnice 2	1 620,54	RADIK typ 22 PLAN VKL 600 x 1100	1
2.5	Ložnice 3	1 731,48	RADIK typ 21 PLAN VKL 400 x 1100	2
2.6	Obývací pokoj	2 260,84	RADIK typ 21 PLAN VKL 500 x 1200	2
3.1	Podkroví	923,34	RADIK typ 21 PLAN VKL 500 x 1100	1

Nová otopná tělesa opatříme termoregulačními ventily, díky kterým budou využity vnitřní tepelné zisky a venkovní solární zisky. Tím zajistíme efektivní úpravu výkonu kotle a úsporu provozních nákladů. Vznikající tlakové rozdíly při aktivaci termoregulačního ventilu odstraníme osazením regulace tlakové difference.

V místnostech jako chodba, garáž, či sklad nářadí, kde se současně otopná tělesa nenacházejí, nebudeme nové radiátory navrhovat.

7.7. Další možnosti snížení spotřeby tepla v objektu

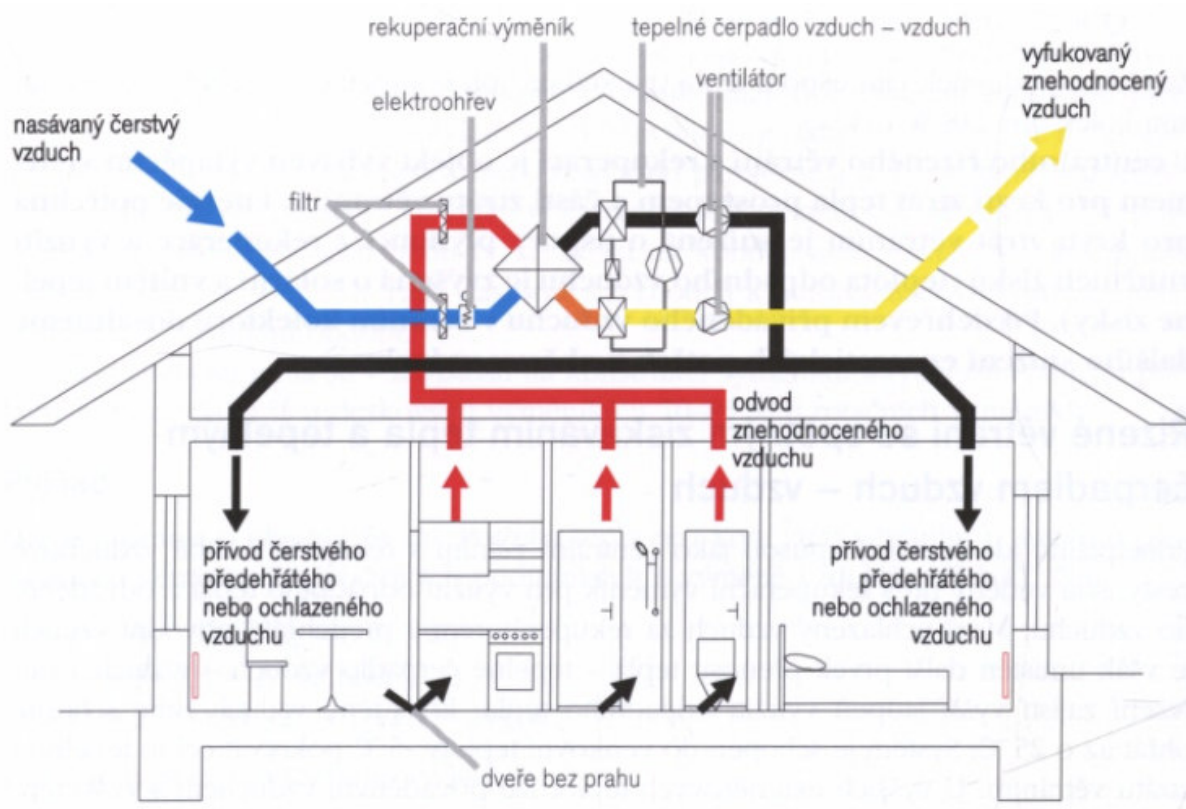
Dalšími možnostmi snížení energetické náročnosti budovy jsou pořízení větracího systému s rekuperací tepla, které zajistí zpětné získávání tepla z odváděného znehodnoceného vzduchu. A dále je možné opatřit objekt solárním systémem pro přípravu teplé vody a podporu vytápění.

7.7.1. Rekuperace tepla

Je-li v objektu navrženo nucené větrání či klimatizace, je vhodné doplnit tento způsob výměny vzduchu o zpětné získávání tepla ze znehodnoceného vzduchu, který je odváděn z budovy ven. Díky rekuperaci tepla je přiváděný čerstvý vzduch ohříván teplem z odpadního vzduchu, které nám může částečně či úplně pokrýt tepelné ztráty objektu a tím tak snížit potřebu energie na vytápění (Počinková, 2008) (Počinková, 2011).

Větrací systémy s rekuperací tepla tepelným čerpadlem vzduch-vzduch (obr. 35) jsou vhodné zejména pro energeticky úsporné objekty. Princip spočívá ve výměně vzduchu pomocí větrací jednotky s rekuperací tepla. Klesne-li teplota přiváděného vzduchu pod určitou hodnotu, pak začne pracovat tepelné čerpadlo, které dále odebírá teplo znehodnocenému vzduchu za rekuperačním výměníkem a více jej ochlazuje. Přívodní vzduch je pak ohříván tímto teplem zvětšeným o příkon kompresoru (Počinková, 2008).

Obr. 35 Větrací systém s rekuperací tepla a tepelným čerpadlem



Zdroj: (Počinková, 2008)

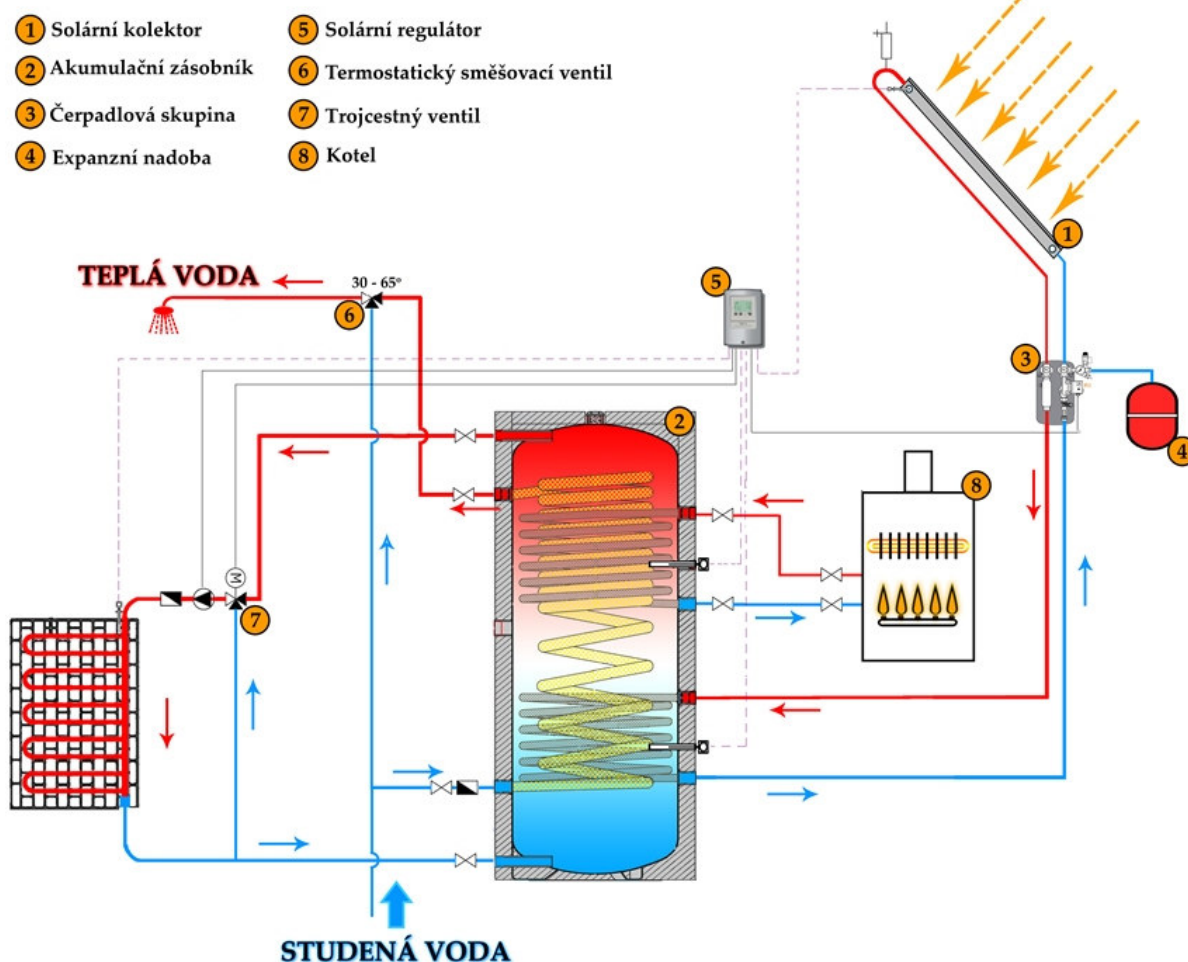
Tento typ větrání lze použít i v letním období při reverzním chodu, kdy přiváděný vzduch proudí přes výparník a odváděný vzduch přes kondenzátor. Teplo je odebíráno přiváděnému vzduchu, který je ochlazován (Počinková, 2008).

7.7.2. Solární systémy

Sluneční záření dopadající na plochu 1 m² má hodnotu energie okolo 1 000 W. Vyplatí se tedy instalovat na budovu solární panely a této energii tak využívat. Solární systémy se používají jako doplňkový zdroj vytápění na začátku a konci topné sezóny. Teplovodní kolektory se primárně využívají pro přípravu teplé vody, dále pro přívod tepla do podlahového vytápění či nízkoteplotních otopných těles (Srdečný, 2004) (Dufka, 2007).

U solárních systémů pro ohřev vody (obr. 36) se z důvodu hospodárnosti používají akumulční a vyrovnávací nádrže, které akumulují teplo ze zdroje během malého odběru a vyrovnávají nerovnoměrný odběr tepelné energie během špičky. V zimních měsících, kdy je málo slunečního svitu, je nutné topnou vodu dohřívat klasickým kotlem či jiným zdrojem tepla (Dufka, 2007) (Dufka, 2004).

Obr. 36 Solární systém pro ohřev vody a přitápění



Zdroj: <http://www.solarni-system.eu/ohrev-vody-a-pritapeni>

7.8. Náklady navržené investice a její návratnost

7.8.1. Celkové náklady rekonstrukce

Celkové náklady na navrženou rekonstrukci jsou vyčísleny v tab. 29, která vychází z podrobných údajů uvedených v kapitole 7.2. Náklady na nový kotel a nová otopná tělesa nejsou do celkových nákladů zahrnuta, jelikož se jedná o velkou finanční částku, která by mnohonásobně prodloužila návratnost investice. Stávající vytápěcí systém bude uvažován jako dostatečný a kvalitně plnící svou funkci.

Tab. 29 Celkové náklady na navrženou rekonstrukci

č. čl.	Konstrukce	Celková cena [Kč]
5.2.1	Nové zateplení obvodového pláště	155 426,49
	Demontáž a likvidace původního obvodového pláště	46 627,95
	Pronájem lešení	11 625,00
5.2.2	Nová podlaha nad terénem	31 500,00
	Demontáž a likvidace původní podlahy nad terénem	7 875,00
5.2.3	Nová podlaha v podkroví	37 240,00
5.2.4	Zateplení střešní konstrukce	73 182,48
5.2.5	Výměna výplní otvorů	101 500,00
	Demontáž a likvidace stávajících výplní otvorů	20 300,00
Cena celkem bez DPH [Kč]		485 276,92

7.8.2. Výpočet návratnosti investice

Návratnost investice vyjadřuje potřebnou dobu pro úhradu investovaných finančních prostředků. Čím je tato doba kratší, tím je investice výhodnější. Pro zjištění doby návratnosti použijeme vzorec (12) (Rosochatecká, 2006).

Cena dodávky a distribuce elektrické energie se aktuálně pohybuje okolo 4,00,-Kč/kWh. Vynásobíme-li množství úspory energie 11 064,48 kWh jednotkovou cenou 4,003,-Kč získáme cenu roční úspory 44 290,-Kč. Vydělením investované částky částkou roční úspory zjistíme dobu návratnosti danou v letech.

$$T_s = \frac{IN}{CF} \text{ [rok]} \quad (12)$$

$$T_s = \frac{485\,276,92}{11\,064,48 \cdot 4,003} = 10,96 \text{ roku}$$

Kde je:

T_s doba návratnosti investice [rok]

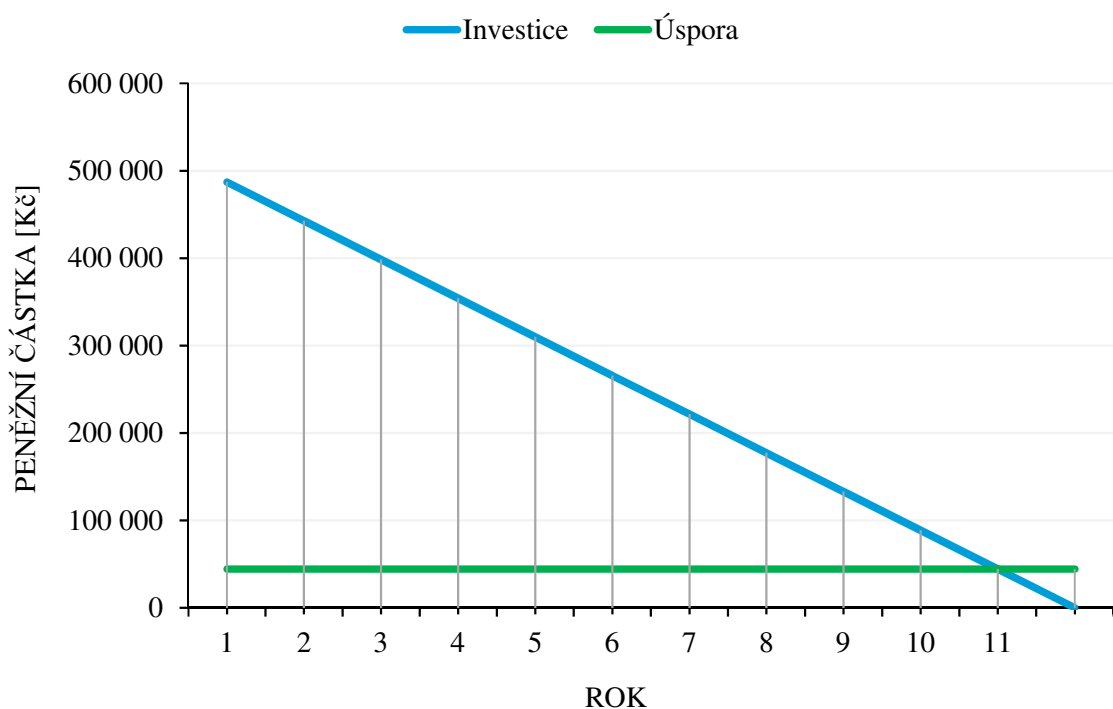
IN investovaný kapitál [Kč]

CF roční úspora nákladů, tj. roční úspora energie
vynásobená cenou za 1 kWh [Kč]

Návratnost vložené investice je zaokrouhleně dle výpočtu 11 let. Životnost nové fasády i zateplené střechy se pohybuje okolo 30 let. Životnost nových plastových výplní otvorů je dokonce až 50 let. Dobu návratnosti investice tedy můžeme považovat za přijatelnou, jelikož trvanlivost nových materiálů a konstrukcí výrazně převažuje dobu návratnosti investice.

V grafu 3 je uvedena návratnost investice dle jednotlivých let. Křivka Investice má klesající tendenci a vyjadřuje míru splacení dlužné částky v jednotlivých letech. Křivka Úspora má lineární tendenci, jelikož úspora nákladů je každý rok stejná. Od průsečíku těchto dvou křivek již začíná být investice výdělečná.

Graf 3 Návratnost investice



8. Závěr

Cílem této diplomové práce byla analýza stávajícího stavu energetické náročnosti objektu vzhledem k jeho způsobu zateplení. Návrh opatření na snížení spotřeby tepla a s tím související úpravy v otopné soustavě.

V teoretické části je stručně popsána energetická náročnost budov a její způsob hodnocení. Druhy energií nacházejících se v objektu a jejich množství v závislosti na tepelných ztrátách objektu. Dále je definována tepelná pohoda a její vliv na člověka, který souvisí s teplotou a vlhkostí vzduchu v místnosti. Následuje souhrn způsobů zateplování budov a druhy používaných izolantů. Na konci teoretické části jsou stručně popsány způsoby vytápění rodinných domů a jejich porovnání.

Praktická část je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá současnými konstrukcemi řešeného domu pro stanovení základních hodnot, díky kterým jsou následně vyčísleny tepelné ztráty objektu, návrhový tepelný výkon a roční spotřeba tepla pro vytápění.

Druhá část diplomové práce se zabývá návrhem na snížení energetické náročnosti objektu. Toho bylo dosaženo novým kontaktním zateplovacím systémem obvodové konstrukce, zateplením střešní konstrukce, zateplením podlahy a výměnou stávajících výplní otvorů za nové s nižším součinitelem prostupu tepla. Současně byly vyčísleny náklady na pořízení zateplení i výplní otvorů. Na základě těchto údajů byla vypočtena doba návratnosti investice, která vyšla na 11 roků. Tuto investici lze považovat za přijatelnou, jelikož životnost nových materiálů a konstrukcí výrazně převažuje dobu návratnosti investice.

Současně se snížením energetické náročnosti objektu byla snížena také potřeba energie na vytápění. To umožnilo vyměnit starý kotel na tuhá paliva za nový moderní s nižším výkonem. Pro efektivní vytápění byla navržena také nová otopná tělesa s termoregulačními hlavicemi, které umí využít vnitřní tepelné zisky a tím tak ušetřit další provozní náklady.

Dalšími možnostmi snížení potřeby energie na vytápění a tím tak snížení provozních nákladů jsou zejména použití nuceného větrání s rekuperací tepla či osazení solárních kolektorů jako doplňkový zdroj pro vytápění a ohřev vody.

Do ekonomické návratnosti bylo zahrnuto pouze zateplení rodinného domu, jelikož nová otopná soustava by při své ceně pohybující se okolo 250 000,-Kč výrazně prodloužila návratnost investice. Současná otopná soustava je považována za plně funkční, není tedy nutné provádět výměnu. Ovšem do budoucna, jestliže bychom chtěli ušetřit ještě více provozních nákladů, je vhodné vytápění rekonstruovat.

9. Použitá literatura

BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy - otopná tělesa*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.

DUFKA, Jaroslav. *Hospodárné vytápění domů a bytů*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-2019-7.

DUFKA, Jaroslav. *Vytápění domů a bytů*. 2. přeprac. vyd. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0642-3.

Energetická náročnost budov. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov>

HÁJEK, Václav, 2001. *Pozemní stavitelství pro 1. ročník SPŠ stavebních*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-81-6.

IZOLACE Z OVČÍ VLNY. *Naturwool* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.naturwool.cz/izolace-z-ovci-vlny/>

KABELE, Karel. *Hodnocení kvality vnitřního prostředí budov s nízkou spotřebou energie*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018. ISBN 978-80-02-02811-6.

Low density and high strength nanofibrillated cellulose aerogel for thermal insulation application. *ScienceDirect* [online]. 2018 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127518306440?casa_token=WOKXPgbvx9wAAAAA:hbGKCXs0ZnM44HmuUwIopYcIhngHY6tBZLdORXMJQEZYEYk_bBoydGAGfceNIgQMGNJH5P8WXxo

NERUŠIL, Josef, 2012. Co nám daly a vzali okály. *DŘEVOSTAVITEL* [online]. Brno [cit. 2021-02-14]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/co-nam-daly-okaly>

Orientační časové ukazatele prací a dodávek v hod. / 1 prac. (stroj). *ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <http://web.cvut.cz/fa/u524/rea/podklady/ukazatele/podklady.html>

Otopná tělesa jako příčina doplnění zdroje tepla z kotlíkových dotací kotlem na uhlí. *TZB-info* [online]. 2021 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/22152-otopna-telesa-jako-pricina-doplneni-zdroje-tepla-z-kotlikovych-dotaci-kotlem-na-uhli>

POČINKOVÁ, Marcela a Danuše ČUPROVÁ. *Úsporný dům*. 2. aktualiz. vyd. Brno: ERA group spol. s r.o., 2008. ISBN 978-80-7366-131-1.

POČINKOVÁ, Marcela a Lea TREUOVÁ. *Vytápění*. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3329-3.

Radiant heating and cooling systems (Part 1). *HVACR ONLINE* [online]. 2017 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <http://www.refrigerationandaircon.co.za/index.php/features/heating-feature/18-radiant-heating-and-cooling-systems-part-1>

ROSOCHATECKÁ, Eva, 2006. *Ekonomika podniků*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta. ISBN 80-213-1482-6.

SRDEČNÝ, Karel a František MACHOLDA, 2004. *Úspory energie v domě*. Praha: Grada Publishing, a.s. ISBN 80-247-0523-0.

ŠUBRT, Roman, 1998. *Tepelné izolace domů a bytů*. Praha: Grada Publishing, a.s. ISBN 80-7169-566-1.

ŠUBRT, Roman, 2008. *Zateplování*. Brno: ERA group spol. s r.o. ISBN 978-80-7366-138-0.

Tepelně izolační omítky. *OMÍTKY VOJTEK* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <http://www.omitky-vojtek.cz/tepelne-izolacni-omitky/>

Tepelněizolační omítky. *Zofi* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://eshop.zofi.cz/tepelneizolacni-omitky>

VELFEL, Petr, 2010. *Energie pro rodinný dům*. Hradec Králové: Paradise studio. ISBN 978-80-254-7679-6.

Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov. In: . 2020.

Výpočet roční potřeby tepla. *Katedra TZB FSv ČVUT* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/denostunova-metoda-vypoctu-rocni-potreby-tepla.pdf>

Zateplovací (tepelně-izolační) omítky umožní stěnám volně dýchat. *FASÁDY - ZATEPLENÍ KWACZEK* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-kwaczek.cz/zateplovaci-omitky>

10. Seznam použitých norem

ČSN EN 12828+A1 *Tepelné soustavy v budovách – Navrhování teplovodních otopných soustav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

ČSN EN 12831-1 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

ČSN EN 15316-1 *Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinnost soustav - Část 1: Obecné požadavky a vyjádření energetické náročnosti, Modul M3-1, M3-4, M3-9, M8-1, M8-4*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.

ČSN 38 3350 *Zásobování teplem, všeobecné zásady*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1989.

ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN 73 0540-4 *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

11. Seznam obrázků

Obr. 1	Schéma spotřeby energie v rodinném domě	2
Obr. 2	Energetická potřeba objektu	3
Obr. 3	Rozložení tepelných ztrát vytápěné budovy	5
Obr. 4	Průběh teplot v obvodové konstrukci	6
Obr. 5	Skladba kontaktního systému ETICS	8
Obr. 6	Schéma provětrávané fasády.....	9
Obr. 7	Zateplení fasády s přízdívkou z cihelného zdiva	10
Obr. 8	Skladba tepelně izolační omítky	11
Obr. 9	Minerální vlna ROCKWOOL.....	13
Obr. 10	Stříkaná polyuretanová pěna.....	13
Obr. 11	Fasádní polystyren EPS	14
Obr. 12	Tepelná izolace z Korku	15
Obr. 13	Foukaná tepelná izolace z Celulózy.....	15
Obr. 14	Dřevovláknitá izolace	16
Obr. 15	Tepelná izolace slámou a senem.....	16
Obr. 16	Rákosová rohož.....	17
Obr. 17	Lněná tepelná izolace.....	17
Obr. 18	Tepelná izolace z technického konopí	18
Obr. 19	Izolace Corkoco - kombinace korku a kokosových vláken	18
Obr. 20	Tepelná izolace z ovčí vlny	19
Obr. 21	Schematické znázornění syntézy nanofibrilovaného celulózového aerogelu.....	19
Obr. 22	Schéma teplovodního vytápění dvou podlaží	21
Obr. 23	Teplota vzduchu u různých způsobů vytápění.....	22
Obr. 24	Lokální topidlo - elektrický olejový radiátor	23
Obr. 25	Termoregulační ventily	25
Obr. 26	Foto řešeného rodinného domu.....	27
Obr. 27	Skladba vnějšího pláště objektu.....	30
Obr. 28	Návrh zateplení střešní konstrukce	46
Obr. 29	Řez plastovým oknem s trojsklem	48
Obr. 30	Vstupní dveře do objektu	48
Obr. 31	Stávající kotel na tuhá paliva DAKON URS-24	53
Obr. 32	Stávající elektrokotel DUKO	53
Obr. 33	Stávající otopné těleso	54
Obr. 34	Deskové otopné těleso KORADO RADIK PLAN VKL.....	55
Obr. 35	Větrací systém s rekuperací tepla a tepelným čerpadlem	57
Obr. 36	Solární systém pro ohřev vody a přitápění	58

12. Seznam grafů

Graf 1	Bilance tepelných ztrát původního stavu objektu	50
Graf 2	Bilance tepelných ztrát po rekonstrukci objektu.....	50
Graf 3	Návratnost investice.....	60

13. Seznam tabulek

Tab. 1	Vnitřní výpočtové teploty a relativní vlhkost vzduchu pro obytné budovy	4
Tab. 2	Vnitřní klima objektu.....	28
Tab. 3	Skladba vnějšího pláště budovy.....	30
Tab. 4	Skladba podlahy nad terénem – laminátová podlaha – místnosti č. 1.8 a č. 1.6.....	31
Tab. 5	Skladba podlahy nad terénem – keramická dlažba – místnost č. 1.5.....	31
Tab. 6	Skladba podlahy nad terénem – PVC – místnosti č. 1.1 a č. 1.7	32
Tab. 7	Skladba podlahy nad terénem – betonová podlaha – místnosti č. 1.2, č. 1.3, č. 1.4..	32
Tab. 8	Skladba stropu nad 1.NP.....	33
Tab. 9	Skladba stropu nad 2.NP.....	33
Tab. 10	Součinitelé prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a jejich posouzení.....	34
Tab. 11	Výpočet tepelné ztráty místnosti č. 1.6.....	36
Tab. 12	Celkové tepelné ztráty rodinného domu	37
Tab. 13	Výpočet dodatečného zátopového výkonu	38
Tab. 14	Nová skladba vnějšího pláště budovy.....	41
Tab. 15	Nová skladba vnějšího pláště budovy - náklady.....	41
Tab. 16	Nová skladba vnějšího pláště budovy - náklady (pokračování)	42
Tab. 17	Náklady na pronájem lešení.....	42
Tab. 18	Nová skladba podlahy nad terénem – laminátová podlaha.....	43
Tab. 19	Nová skladba podlahy nad terénem - náklady	44
Tab. 20	Nová skladba stropu nad 2.NP.....	44
Tab. 21	Materiály a ceny nové podlahy v podkroví.....	45
Tab. 22	Návrh zateplení střešní konstrukce	46
Tab. 23	Materiály a jejich ceny pro nové zateplení střešní konstrukce	47
Tab. 24	Celkové tepelné ztráty objektu před a po zateplení	49
Tab. 25	Bilance tepelných ztrát původního stavu objektu a po zateplení objektu.....	49
Tab. 26	Výpočet dodatečného zátopového výkonu po zateplení objektu.....	51
Tab. 27	Typy zvolených otopných těles	55
Tab. 28	Typy použitých otopných těles v jednotlivých místnostech.....	56
Tab. 29	Celkové náklady na navrženou rekonstrukci	59

14. Přílohy

Příloha 1 Vzor průkazu energetické náročnosti budov

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, č.p./č.o.: PSČ, obec: K.ú., parcelní č.: Typ budovy: Celková energeticky vztažná plocha: m²	FOTO
--	------

KLASIFIKAČNÍ TŘÍDA

Primární energie z neobnovitelných zdrojů
kWh/(m²·rok)

Mimořádně úsporná **A**
← XXX

Velmi úsporná **B**
← XXX

Úsporná **C**
← XXX

Méně úsporná **D**
← XXX

Nehospodárná **E**
← XXX

Velmi nehospodárná **F**
← XXX

Mimořádně nehospodárná **G**
← XXX

C
XXX

Požadavky pro výstavbu nové budovy po roce 2022

jsou **SPLNĚNY**

ROZDĚLENÍ DODANÉ ENERGIE

MWh/rok

- Elektřina ze sítě – XX,X
- Slunce a en. prostředí – XX,X
- Zemní plyn – XX,X
- Biomasa – XX,X

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	XXX W/(m ² ·K)	C
	Měrná potřeba tepla na vytápění	XXX kWh/(m ² ·rok)	
	Celková dodaná energie	XXX kWh/(m ² ·rok)	B
	Vytápění	XXX kWh/(m ² ·rok)	A
	Chlazení	XXX kWh/(m ² ·rok)	C
	Nucené větrání	XXX kWh/(m ² ·rok)	D
	Úprava vlhkosti	XXX kWh/(m ² ·rok)	C
	Příprava teplé vody	XXX kWh/(m ² ·rok)	C
	Osvětlení	XXX kWh/(m ² ·rok)	F

Energetický specialista:
 Osvědčení č.:
 Kontakt:

Ev. č. průkazu:
 Vyhотовeno dne:
 Podpis:

Zdroj: (Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov, 2020)