

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh energetických úspor pro rodinný dům

Energy Savings Project for Detached House

Student:

Ing. Marcel Rolf Pfeifer

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Marcel Rolf Pfeifer**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2302T006 Energetické stroje a zařízení**
Téma: **Návrh energetických úspor pro rodinný dům
Energy Savings Project for Detached House**

Zásady pro vypracování:

Proveďte energeticko-ekonomickou studii zaměřenou na snížení spotřeby energie vybraného rodinného domu s využitím slunečního záření. Pro analytickou část použijte údaje z databáze Meteonorm.

Práce bude obsahovat:

- 1) Specifikaci možných energetických úspor, jejich stanovení a zhodnocení.
- 2) Variantní návrhy souboru opatření, jejich analýza a zhodnocení z hlediska environmentálního a ekonomického přínosu.
- 3) Výběr optimální varianty s respektováním náplně zadání.
- 4) Rozpracování části návrhu týkající se využití sluneční energie.
- 5) Výkresovou dokumentaci s koncepčním návrhem systému a dispozičním řešením.

Seznam doporučené odborné literatury:

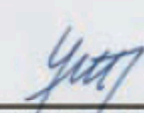
- KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
- CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
- TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 5. vydání. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.
- MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.
- MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě*11.5.2015*.....

.....*[Signature]*.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 11.5.2015


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Marcel Pfeifer

Adresa trvalého pobytu autora práce: Königsbergstraße 32, 63637 Jossgrund,
Německo

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PFEIFER, M. Návrh energetických úspor pro rodinný dům : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2015, 78 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem energetických úspor pro rodinný dům. Na začátku diplomové práce je nastíněn současný stav a jsou vyčísleny tepelné ztráty domu. Následuje krátké zhodnocení nynější situace, který tvoří základ pro následující kapitolu. Tato kapitola obsahuje návrh zlepšení situace, zabývající se snižováním tepelných ztrát, tedy izolováním domu a návrhem solárního systému. Pak následuje srovnání se současným stavem. Návrh je v závěru zhodnocen a to jak ze strany technologie, nákladů a přiměřenosti projektu. Na konci práce dojde ke krátkému shrnutí.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

PFEIFER, M. Energy Savings Project for Detached House : Master Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2015, 78 p. Thesis head: Vrtek, M.

This thesis deals with the energy savings project for a detached house. At the beginning of the thesis the current status is summarized. Even more, the heat losses of the house are calculated. This is followed by a brief assessment of the current situation as a preparation for the next chapter. This chapter contains a proposal for improving the situation, relating mainly to the reduction of losses by isolating the building and by proposing of a solar system. A comparison between with the actual state is done. The proposal is then evaluated critically, both from the technology and proportionality point of view, as well as by cost. At the end, there is a brief summary.

Obsah

1	Úvod	1
2	Tepelné ztráty domu	3
	2.1 Úkol	3
	2.2 Základní parametry rodinného domu	4
	2.3 Tepelné ztráty domu	6
	2.3.1 Denostupňová metoda	11
	2.3.1.1 Data o topném období	11
	2.3.1.2 Roční potřeba tepla na vytápění budovy	12
	2.3.1.3 Denní potřeba tepla na ohřev teplé užitkové vody	13
	2.4 Souhrn	14
3	Zhodnocení současného stavu	15
4	Návrh zlepšování	19
	4.1 Zlepšení izolace domu	19
	4.1.1 Izolace střechy	19
	4.1.2 Stěny	22
	4.1.3 Okna	25
	4.1.4. Výpočet výsledných ztrát	27
	4.1.5 Cenový odhad	32
	4.2 Kotel	34
	4.3 Návrh solárního okruhu	36
	4.3.1 Lokalita	36
	4.3.2 Výběr kolektorů	41
	4.3.3 Výběr kolektorů s přenosem tepla	45
	4.3.3.1 Výpočet pro izolovaný dům	48
	4.3.4 Zařízení pro TUV	49
	4.3.4.1 Čerpadlo	50
	4.3.4.2 Expanzní nádoba	54
	4.3.4.3 Celková soustava	57
	4.3.4.4 Cenový odhad	59
	4.4 Celkové náklady návrhů	60
5	Kritické ohodnocení návrhů	63
6	Závěr	65
	Použitá literatura	68

Příloha A	Dodatečné tabulky pro návrh solárního systému	73
Příloha B	Plány budovy	
Příloha C	Schéma zapojení a dispoziční schéma	

Seznam zkratk

ČSN	České státní normy
EU	Evropská unie
Kč	Koruna česká
MSK	Moravskoslezský kraj
PUR	Polyuretan
TUV	Teplá užitková voda

Seznam symbolů

Symbol	Symbol pro	Základní jednotka
A	plocha, průřez	[m ²]
B	charakteristické číslo budovy v Pa ^{0,67} podle ČSN 06 0210	[Pa ^{0,67}]
D	počet denostupňů	[K*den]
D	průměr hadice/trubky	[m]
H	podíl vodíku ve dřevě	[1]
I	intenzita slunečního záření	[W/m ²]
L	délka otevíraných spár oken a dveří	[m]
M	charakteristické číslo místnosti (-) podle ČSN 06 0210	[1]
Q	Teplo	[W]
Q _{VYT}	Roční potřeba tepla	[kWh/rok]
Q _c	Výpočtová tepelná ztráta objektu	[kW/m]
Q _i	výhřevnost	[kJ/kg]
Q _s	spalné teplo	[kJ/kg]
Q _{SD}	skutečné množství sluneční energie	[kWh/(m ² *den)]
Q _{TD}	teoretické množství sluneční energie	[kWh/(m ² *den)]
\dot{Q}	Únikový tok tepla	[W]
\dot{Q}_o	základní tok ztrát prostupem tepla	[W]
\dot{Q}_p	Tepelná ztráta prostupem	[W]
$\dot{Q}_{TUV,d}$	Denní spotřeba tepla pro ohřev TUV	[kJ/den]
\dot{Q}_V	Únikový tok větráním	[W]
R	tepelný odpor	[1]
S	Plocha	[m ²]
T	Teplota	[K]
U	součinitel prostup tepla	[W/m ² *K]
V _A	Celkový objem vody v trubkách systému	[m ³]
V _D	objem odpařování vody v slunečním kolektoru	[m ³]
V _k	objem jednoho kolektoru	[m ³]
V _{n,min}	objem expanzní nádoby	[m ³]
\dot{V}	kapalinový tok v trubce	[m ³ /s]
\dot{V}_{np}	Celková potřeba teplé vody za 1 den pro n osob	[m ³ /den]
\dot{V}_V	Tok vzduchu	[m ³ /s]
\dot{V}_{VP}	Objemový tok větracího vzduchu	[m ³ /s]
W	podíl vody ve dřevě	[1]
Z	součinitel znečištění atmosféry	[1]

Symbol	Symbol pro	Základní jednotka
a_e	koeficient vnější strany	[1]
a_i	koeficient vnitřní strany	[1]
c	tepelná kapacita vody	[kJ/kg*K]
c_v	tepelná kapacita	[J/(m ³ *K)]
d	tloušťka stěny	[m]
d	počet dnů otopného období	[1]
e_i	nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	[1]
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	[1]
e_t	snížení teploty v místnosti během dne resp. noci	[1]
h_{stat}	statická výška	[m]
i_{LV}	spárová průvzdušnost	[m ² /(s*Pa ^{-0,67})]
k	součinitel prostupu tepla	[W/(m ² *K)]
k_c	celkový součinitel prostupu tepla pro dům	[W/(m ² *K)]
l	délka	[m]
l_m	tloušťka dodaného materiálu	[m]
l_i	tloušťka i-tého materiálu	[m]
m	hmotnost	[kg]
$m_{suchého}$	hmotnost suchého dřeva	[kg]
$m_{vlhkého}$	hmotnost vlhkého dřeva	[kg]
n	počet osob v budově	[1]
n_k	počet kolektorů	[1]
p	tlak	[kPa]
p_0	plnicí tlak	[bar]
p_1	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[1]
p_2	přirážka na urychlení zátopy	[1]
p_3	přirážka na světovou stranu	[1]
p_e	tlak v expanzní nádobě	[bar]
p_{sv}	spouštěcí tlak	[bar]
p_v	přetlak membránové expanzní nádoby	[bar]
t	čas	[s]
t	požadovaná teplota v domě	[°C]
t_e	výpočtová teplota prostředí na vnější straně konstrukce	[°C]
t_{es}	průměrná teplota topného období	[°C]
t_i	vnitřní teplota	[°C]
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]
u	rychlost kapaliny	[m/s]
$W_{energetická}$	energetická vlhkost dřeva	[%]
z	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TUV	[1]

Symbol	Symbol pro	Základní jednotka
Σ	Suma	[1]
α	sklon solárního zařízení	[°]
ξ	ztráty během proudění tekutiny	[Pa]
η_0	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy	[1]
η_r	účinnost rozvodu vytápění	[1]
λ_p	Součinitel tepelné vodivosti	[W/(m*K)]
ρ	hustota	[kg/m ³]
τ	Průměrná doba slunečního svitu	[h]
τ_{rel}	Poměr skutečného a teoretického příkonu kolektoru	[1]

Seznam obrázků

Obrázek 1:	Fotka domu	5
Obrázek 2:	Veškeré parametry pro jednotlivé materiály	7
Obrázek 3:	Výhřevnost dřeva v závislosti na délku období sušení	16
Obrázek 4:	Gráf vlivu změny tloušťky izolačního materiálu [mm] na tepelné ztráty [kW]	25
Obrázek 5:	Kotel U26 v současném provedení	35
Obrázek 6:	Roční průměrný úhrn slunečního záření	37
Obrázek 7:	Měsíční sluneční úhrn v Ostravě	38
Obrázek 8:	Intenzita záření I pro 50° severní šířky	38
Obrázek 9:	Objem srážek a průměrné teploty pro každý měsíc v Ostravě	39
Obrázek 10:	Teoretické množství sluneční energie na 50° severní šířky	39
Obrázek 11:	Teoretické množství sluneční energie se se otáčejícími kolektory	40
Obrázek 12:	Sériové zařazení kolektorů	52
Obrázek 13:	Gráf čerpadlové skupiny 6 l/min od firmy Vaillant	53
Obrázek 14:	Expanzní membránová nádoba	54
Obrázek 15:	Expanzní membránová nádoba pod tlakem	54
Obrázek 16:	Schéma propojení slunečního zařízení	57

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Tepelné ztráty domu ve [W] a v [kWh]	9
Tabulka 2:	Ceny vytápění závislé na době sušení	18
Tabulka 3:	Tepelné ztráty domu ve [W] a v [kWh]	27
Tabulka 4:	Tepelné ztráty po optimalizaci	28
Tabulka 5:	Tepelné ztráty po izolaci střechy	29
Tabulka 6:	Tepelné ztráty v případě izolace střechy a podlahy	30
Tabulka 7:	Hodnoty pro τ and τ_{rel}	40
Tabulka 8:	Výpočet Q_{SD} pro 0° sklon kolektorů	40
Tabulka 9:	Výpočet Q_{SD} pro různé sklony kolektorů	41
Tabulek 10:	Výpočet Q_{SD} pro neustále se otáčející kolektory	41
Tabulka 11:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 0^\circ$	41
Tabulka 12:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 30^\circ$	42
Tabulka 13:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 60^\circ$	43
Tabulka 14:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 90^\circ$	43
Tabulka 15:	Energetická bilance solárních panelů pro $\alpha = 60^\circ$	45
Tabulka 16:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha=0^\circ$ s teplem	45
Tabulka 17:	Energetická bilance kolektorů za rok	46
Tabulka 18:	Téměř neutrální energetická bilance	47
Tabulka 19:	Potřeba solárních kolektorů pro izolovaný dům	48
Tabulka 20:	Přínos a požadavek tepelné energie solárních kolektorů	49
Tabulka 21:	Stav čerpadla	57
Tabulka 22:	Stav čerpadla v závislosti na stavech ventilů	58
Tabulka 23:	Stav ventilu pro vstup vody	58
Tabulka 24:	Stav ventilů v závislosti na stavu plynového kotle	58
Tabulka 25:	Stavy pro přidání energie	59
Tabulka 26:	Stav pro přidání energie ze slunečních kolektorů	59
Tabulka 27:	Odhad cen pro solární sestavu	60
Tabulka 28:	Ceny zlepšovacích návrhů a návratnost	61

Příloha A:

Tabulka A-1:	Obrázek 19 s ohledem na topné období	73
Tabulka A-2:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 30^\circ$ s teplem	73
Tabulka A-3:	Obrázek 21 s ohledem na topné období	74
Tabulka A-4:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 60^\circ$ s teplem	74
Tabulka A-5:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 90^\circ$ s teplem	75
Tabulka A-6:	Obrázek 25 s ohledem na topné období	76
Tabulka A-7:	Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 60^\circ$	76

1 Úvod

Tato práce se zabývá návrhem energetických úspor pro rodinný dům. Jejím cílem je snížení energetické náročnosti domu, a to vzhledem ke spotřebě i vzhledem k nákladům.

Dům se nachází v okrese Frýdek-Místek a byl postaven v roce 1993. Základní podklady k tomuto domu, zejména výkresy, jsou přílohou této práce (příloha B). I když se jedná o dvaceti-dvouletý dům, existuje na něm několik bodů pro zlepšení vzhledem k energetické náročnosti domu. Cílem této práce je tyto body najít a navrhnout vhodné řešení.

První kapitola se zabývá stanovením energetické náročnosti domu. Vypočítávají se proto energetické ztráty, tedy ztráty vzniklé z titulu prostupu tepla zevnitř ven. Tyto ztráty nevznikají pouze v případě větrání, ale i přes zavřená okna a přes stěny. Toto téma je zvláště aktuální, jelikož Česká republika podporuje snížení energetické náročnosti domů v programech, jimiž jsou např. nové Zelené úspory.

Druhá kapitola se zabývá pak analýzou hodnocení současného stavu. Mimo tepelné ztráty existují ještě další parametry (např. vlhkost topného dřeva), které ovlivňují celkovou cenu pro energii v domě. Vlhkost dřeva se dá ovlivnit sušením dřeva venku, to však vyžaduje svůj čas.

V třetí kapitole dojde k vlastnímu návrhu k zlepšování energetické náročnosti a k návrhům podporujících elektrické úspory. Tyto návrhy se zaměřují na zlepšení izolace domu a na možnost použití solárního okruhu k ohřevu teplé užitkové vody. Kapitola obsahuje i úpravu současného kotle, což není přímým záměrem práce. Nicméně je kotel důležitým prvkem celkového energetického řešení tohoto domu. Tento bod byl zohledněn na základě budoucí legislativy.

Následně dojde ke zhodnocení návrhů. Jde zde hlavně o posouzení reálnosti a realizovatelnosti těchto návrhů. Kapitola slouží však také jako samokontrola. Na základě

údajů z internetu si vytvoříme cenové odhady, na jejichž základě víme, zda se taková úprava může vyplatit. Technologické řešení a cena musí být přiměřená.

Práce končí stručným závěrem.

2 Tepelné ztráty domu

V této kapitole se zabývám současným stavem zmíněného domu, zejména z hlediska současného energetického řešení. Na začátku si vysvětlíme úkol, tedy analýzu současného stavu. Začneme však se základními parametry domu. Parametry lokality a polohy jsou důležité z hlediska slunečního záření. Nejpodstatnější část analýzy představuje tepelná zátěž domu, ve které se podíváme na spotřebu a únik tepelné energie.

Abychom byli schopni analyzovat a popř. v návrhu řešení nahradit současné řešení zlepšením, potřebujeme si zobrazit, jaké máme zisky a ztráty energie v domě. Dále tato kapitola slouží jako základ k optimalizaci.

Následně začínáme s vysvětlováním úkolu, který je zaměřen na daný rodinný dům.

2.1 Úkol

Pro daný rodinný dům počítáme s tím, že se v něm zatím nachází čtyři dospělé osoby s potenciálním nárůstem o dvě děti. Proto musíme plánovat solární zařízení pro čtyři dospělé osoby a dvě děti.

Solární zařízení můžeme používat pro výrobu teplé užitkové vody (TUV). Další možností využití teplé vody je možnost přenosu tepla pro ohřev vzduchu v domě. Tímto způsobem by bylo možné snížit množství potřebného uhlí nebo elektřiny pro topení. V této době, kdy jsou jmenované zdroje energie stále dražší, by to mohla být příležitost, jak ušetřit peníze.

Řešení se skládá ze dvou částí. První část představuje výpočet spotřeby vody. Minimálním požadavkem na řešení je, že solární kolektory musí převádět dostatečné množství energie pro ohřívání teplé užitkové vody. Druhý návrh počítá kromě toho ještě s možností ohřívání vody pro přenášení tepla. V tomto řešení používáme vodu také

v radiátorech pro zahřívání vzduchu v pokojích.

Pro spotřebu vody v celém domě musíme vědět, kolik lidí zde bude bydlet. Počítáme s dvěma rodinami, tj. celkem čtyři dospělé osoby a dvě děti. Dále nás zajímá, jaká je spotřeba pro jednu osobu za den, za měsíc nebo za rok. Obvykle také existují rozdíly mezi létem a zimou. Celková spotřeba TUV je 550 kWh^[36] za rok na osobu. Pro šest osob to znamená 3300 kWh za rok celkově a 275 kWh měsíčně. Údaje jsou zprůměrovány a ignorujeme rozdíly ročních období.

Řešení druhé části se podobá prvnímu. Rozdíl je v tom, že osoby nepotřebují pouze TUV, ale také teplo. Počítáme zde s 800 kWh za rok na osobu. Pro šest osob to znamená 4800 kWh za rok celkově a 400 kWh měsíčně. I toto číslo bereme jako konstantní pro všechny měsíce bez ohledu na roční období. Dále musíme počítat s tím, že je nutné také kompenzovat tepelné ztráty domu. Tyto ztráty mohou vznikat u oken nebo u zdí. Obojí vypočítáme podle metody zmíněné výše.

V další podkapitole se podíváme na lokalitu rodinného domu.

2.2 Základní parametry rodinného domu

Rodinný dům se nachází v okrese Frýdek-Místek, obec Vojkovice, na území České republiky. Tento objekt se skládá z následujících komponentů:

- 2 patra,
- 1 patro jako sklep, částečně již zabudováno do zeminy,
- půda,
- téměř plochá střecha.

Dům byl postaven v roce 1993, dnes je tedy více než dvacet let starý. Vnější izolaci či jiné

dnešní standardy proto nemá. Pro přínos tepelné energie se zde používá kombinace tuhých paliv, plynu, popř. i elektřiny. Tuhá paliva jsou používána pouze pro topení radiátory, zemní plyn má za úkol ohřev teplé užitkové vody (dále pouze TUV). Elektrické topení představuje možnost, která se kvůli poměrně vysoké ceně používá pouze v případě nouze. Oba zmiňované způsoby přinášení tepelné energie se jím dají nahradit.

Zdroje tepelné energie v domě:

- VIADRUS U26 s výkonem 25 kW (podle aktuální konfigurace smí tento kotel vykonávat svou činnost pouze do roku 2022, proto se v kapitole 4 zabýváme návrhem řešení, i když je kotel poměrně nový a nadále plně funkční),
- Zemní plyn,
- Elektřina.



Obrázek 1: Fotka domu

Rozměry jednotlivých částí domu jsou: výška prvního + druhého patra = 5490 mm. Sklep se nevytápí. Základní plocha je 12350 mm X 13050 mm. Další plochy jsou pod střechou: 1,136 m² a 5,588 m². Okna druhého patra z východní a západní strany mají

rozměry 1700 mm X 2200 mm. Okna a dveře z východní strany disponují stejnými parametry. Východní dveře 2800 mm X 1100 mm. Na západní straně jsou dveře stejné, dolní okna mají poloviční rozměry než horní. Kovové dveře u vchodu 2200 mm X 1100 mm. Na severní straně se nachází dvě malá okna 800 mm X 800 mm a dvě okna 1600 mm X 800 mm. Dvě taková větší okna má dům i na druhé straně. Na jižní straně máme ještě okna s rozměry 1800 mm X 3300 mm. Celková plocha oken je 56,78 m², plocha kovových dveří 2,42 m². Celkový výměr domu činí 292,34 m². To znamená, že 233,14 m² má zeď (údaje dle originálních výkresů v příloze B).

2.3 Tepelné ztráty domu

Dům byl postaven v roce 1993 a má tak za sebou pouze 21 let. Můžeme tedy počítat s tím, že investice bude čerpána v delším časovém úseku. Proto se jeví jako rozumné, podívat se na možnosti zlepšení energetické situace domu.

Pro výpočet tepelných ztrát domu existují tabulky, ve kterých existují normované tepelné ztráty pro daný stavební materiál. Musíme rozlišovat okna a stěny z kamene. Okna přinesou rozhodně větší ztráty než zdi. Záleží však na velikosti plochy.

Pro zdi platí, že jsou ze škvárobetonových tvárnic. Údaje najdeme v tabulce z ČSN 73 0540-3 z roku 1995 (viz. obrázek 2).

Hodnoty		Normové			Výpočtové	Položka	
Položka	Materiál	Objemová hmotnost v suchém stavu	Měrná tepelná kapacita v suchém stavu	Faktor difuzního odporu	Součinitel difuze vodní páry		Součinitel tepelné vodivosti
		ρ_{dn}	c_{dn}	μ_n	$\tilde{\alpha}_n \cdot 10^9$		λ_p
		[kg/m ³]	[J/kg.K]	[-]	[s]	[W/m.K]	

27	Beton ze škváry	1000	830	6	0,031	0,52	27
28		1100		6	0,031	0,54	28
29		1200		6	0,031	0,67	29
30		1300		6	0,031	0,69	30
31		1400		6	0,031	0,73	31
32		1500		6	0,031	0,74	32
33		1600		8	0,024	0,79	33
34		1700		8	0,024	0,82	34
35		1800		8	0,024	0,90	35
36		1900		8	0,024	0,97	36
37		2000		8	0,024	1,01	37

Obrázek 2: Veškeré parametry pro jednotlivé materiály^[17]

Pro stavbu domu počítáme se středními hodnotami (položka 32). Důležitý je zde hlavně součinitel tepelné vodivosti λ_p . Pro naši stavbu proto počítáme s $\lambda_p = 0,74 \text{ W/ (m}\cdot\text{K)}$ a s délkou $l=0,45 \text{ m (= 450 mm)}$ ^[6]. Rovnice pro výpočet tepelných ztrát je:

$$Q = U * A * \Delta T * \Delta t = \frac{\lambda * A * \Delta T * \Delta t}{l} \quad (2-1)$$

A: plocha, T: teplota, t: čas

Dalším způsobem psaní této rovnice je:

$$Q = U * A * \Delta T * \Delta t = \frac{\lambda * S * \Delta T * \Delta t}{d} \quad (2-2)$$

, kde S je plocha, d je tloušťka stěny. Výsledkem je únikový výkon ve formě tepla Q, který se měří ve Watech.

Podobný postup může být použit při výpočtu oken. Zde ale nepočítáme se součinitelem tepelné vodivosti λ_p . Důvodem je hlavně, že skla jsou velice tenká a proto je obtížné vypočítat koeficient λ_p / d . Nový parametr je takzvaný součinitel prostupu tepla k. Rovnice je pak:

$$Q = k * A * \Delta T * \Delta t \quad (2-1)$$

V případě rodinného domu ve Vojkovicích se jedná o dřevěná zdvojená okna se

dvěma skly. Pro tento druh okna je $k = 2,8 \text{ W} / (\text{m}^2 * \text{K})$ ^[31]. K tomu patří také všechny balkonové dveře. Pro domovní kovové dveře s jedním sklem počítáme s $k = 6,50 \text{ W} / (\text{m}^2 * \text{K})$ ^[31].

Celkový únik teplého výkonu tak vypočítat lze, musíme však dávat pozor, protože v některých místech je navrstveno více materiálu nad sebou (například vnější stěna má základní materiál a omítky). Abychom mohli i tyto materiály společně zohlednit, potřebujeme vypočítat společný koeficient k , který je:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} \quad (2-3)$$

Pro vnější stranu domu dostaneme pro další materiály následující koeficienty:

- Omítka vápenná $\lambda_p = 0,88$ 20 mm
- Omítka vápenocementová $\lambda_p = 0,99$ 30 mm
- Beton ze škváry $\lambda_p = 0,74$ 450 mm
- koeficient vnější strany $a_e = 23$
- koeficient vnitřní strany $a_i = 8$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,03}{0,99} + \frac{0,45}{0,74} + \frac{1}{23}} = 1,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \quad (2-4)$$

Stejný výpočet můžeme také použít pro podlahy a střechu. U podlahy (plocha: 161,2 m²) předpokládáme, že je všude stejná.

- Malta cementová $\lambda_p = 1,16$ 30 mm
- Asfaltový pás $\lambda_p = 0,21$ 5 mm
- Beton hutný $\lambda_p = 1,29$ 200 mm
- Štěrk $\lambda_p = 0,93$ 100 mm

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{0,03}{1,16} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,2}{1,29} + \frac{0,1}{0,93} + \frac{1}{8}} = 2,29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \quad (2-5)$$

U střechy:

- střešní desky z měkkého dřeva $\lambda_p = 0,18$ 20 mm

- lepenka $\lambda_p = 0,21$ 2,5 mm
- sádrokarton $\lambda_p = 0,22$ 10 mm
- polyetylenová difuzní folie $\lambda_p = 0,35$ 0,6 mm
- polyetylenová parozábrana $\lambda_p = 0,35$ 0,5 mm

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,0025}{0,21} + \frac{0,01}{0,22} + \frac{0,0006}{0,35} + \frac{0,0005}{0,35} + \frac{1}{23}} = 2,94 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (2-6)$$

Celoročně pak pro tento rodinný dům vzniknou následující hodnoty tepelných ztrát:

Tabulky 1: Tepelné ztráty domu ve [W] a v [kWh]

Parametry	stěna	střecha	podlaha	okna	dveře
k [W/(m ² *K)]	1,21	2,94	2,29	2,8	6,5
A [m ²]	233,14	161,2	161,2	56,78	2,42
Parametry	Hodnota				
t požadované [°C]	20				
T2v [°C]	3				
Tvmin [°C]	-6				

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
t	-2,4	-0,7	3,2	8,2	13,2	16,4
Q' (stěna) [W]	6319,03	5839,46	4739,27	3328,77	1918,28	1015,56
Q' (střecha) [W]	10615,99	9810,31	7961,99	5592,35	3222,71	1706,14
Q' (podlaha) [W]	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52
Q' (okna) [W]	3561,24	3290,97	2670,93	1876,01	1081,09	572,34
Q' (dveře) [W]	352,35	325,61	264,26	185,61	106,96	56,63
Suma [W]	27124,12	25541,86	21911,97	17258,26	12604,56	9626,19
Počet dnů/měsíc	31	28	31	30	31	30
Energie požadovaná [kWh]	20180,35	17164,13	16302,51	12425,95	9377,79	6930,85
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t	17,8	17,2	13,6	8,9	3,7	-0,4
Q' (stěna) [W]	620,62	789,88	1805,44	3131,30	4598,22	5754,83
Q' (střecha) [W]	1042,64	1327,00	3033,14	5260,60	7725,03	9668,13
Q' (podlaha) [W]	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52
Q' (okna) [W]	349,76	445,16	1017,50	1764,72	2591,44	3243,27
Q' (dveře) [W]	34,61	44,04	100,67	174,60	256,40	320,89
Suma [W]	8323,15	8881,59	12232,26	16606,75	21446,60	25262,64
Počet dnů/měsíc	31	31	30	31	30	31
Energie požadovaná [kWh]	6192,42	6607,90	8807,23	12355,42	15441,55	18795,40

Suma	Celkem		Topné období	
	Celkem	Za měsíc	Celkem	Za měsíc
Tepelné ztráty Q' [W]	206819,95	17235,00	155152,21	12929,35
Energie požadovaná [kWh]	150581,51	12548,46	112665,31	9388,78

Výsledkem je, že pro pokrytí celých tepelných ztrát jednoho roku potřebujeme 207000 W či 207 kW. Měsíčně je to kolem 17 kW (vzorovým měsícem je duben). Obvykle potřebujeme takové zařízení pouze v topném období. Jestliže vynecháme měsíce, kdy nebude potřeba topit, tedy květen až září, dostaneme se na cca. 156 kW ročně, což je asi 13 kW měsíčně.

Celkový k proto bude:

$$k_c = \Sigma \frac{\dot{Q}}{S \cdot (t - t_e)} = \frac{17000W}{161,2m^2 \cdot 17K + 161,2m^2 \cdot 26K + 292,34m^2 \cdot 26K} = 1,17 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (2-7)$$

t_e : vnější teplota, t : požadovaná teplota

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)^{[18]} \quad (2-8)$$

Ztráty větráním^[5]:

$$\dot{Q}_V = c_V \cdot \dot{V}_V \cdot (t_i - t_e) = 1300 \frac{J}{m^3 \cdot K} \cdot \dot{V}_V \cdot 35K \quad (2-9)$$

$c_v = 1300$ pro vzduch (tepelná kapacita)

Nejprve potřebujeme určit objemový tok větracího vzduchu:

$$\dot{V}_{VP} = \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot 8 \cdot 0,7 \quad (2-10)$$

$B = 8$; $M = 0,7$ (pro osamělý dům, nechráněný)

Hodnota i_{LV} (pro dvousklenná okna: $1,4 \cdot 10^{-4}$)

$$\dot{V}_{VP} = \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M = \Sigma(i_{LV} \cdot L) \cdot 8 \cdot 0,7 = (0,55 \cdot 22 + 0,4 \cdot 8) \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 0,7 = 0,012 \frac{m^3}{s} \quad (2-11)$$

Z toho vyplývá:

$$\dot{Q}_V = c_V * \dot{V}_V * (t_i - t_e) = 1300 \frac{J}{m^3 * K} * 0,012 \frac{m^3}{s} * 35K = 546W \quad (2-12)$$

Všechny ztráty (pro tepelné ztráty stěn a pro větrání) musí být sečteny, čímž se dostaneme na průměrné ztráty měsíční, pohybující se okolo 18,5 kW.

2.3.1 Denostupňová metoda

První odhadující metodou pro stanovení potřeby tepla za rok, je takzvaná denostupňová metoda dle normy ČSN 06 0210. Je třeba však uvědomit, že přesnost této metody je poměrně nízká. Výsledky tedy můžeme považovat pouze za odhad, nikoliv za přesný výpočet.

2.3.1.1 Data topného období

Údaje jsou zjištěny dle pramenu^[4] a dle ČSN 06 0210:

Místo:	Vojkovice
Nadmořská výška:	315 m
Počet dnů topného období:	d = 274
Průměrná teplota topného období:	t _{es} = 5,2 °C
Průměrná vnitřní výpočtová teplota:	t _{is} = 20 °C
Výpočtová teplota venkovního prostředí:	t _e = -16 °C
Výpočtová tepelná ztráta objektu:	Q _C = 18,5 kW

2.3.1.2 Roční potřeba tepla na vytápění budovy

$$Q_{VYT} = \frac{e_i * e_t * e_d}{\eta_o * \eta_r} * \frac{24 * Q_c * D}{(t_{is} - t_e)} \quad [kWh/rok] \quad (2-13)$$

, kde

e_i	-	nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem	[1]
e_t	-	snížení teploty v místnosti během dne resp. noci	[1]
e_d	-	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	[1]
η_0	-	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy	[1]
η_r	-	účinnost rozvodu vytápění	[1]
Q_c	-	celková tepelná ztráta objektu	[kW]
D	-	počet denostupňů	[K*den]
t_e	-	výpočtová teplota prostředí na vnější straně konstrukce	[°C]
t_{is}	-	průměrná vnitřní výpočtová teplota	[°C]

Počet denostupňů se určí ze vztahu:

$$D = (t_{is} - t_{es}) * d \text{ [K*den]} \quad (2-14)$$

Dosazením dostaneme:

$$D = (20 - 5,2) * 274 = 4055K * den \quad (2-15)$$

Volené konstanty:

$$e_i = 0,85$$

$$e_t = 0,90$$

$$e_d = 1,00$$

$$\eta_0 = 0,95$$

$$\eta_r = 0,95$$

Následným dosazením hodnot do vztahu (2-15) získáváme:

$$Q_{VYT} = \frac{0,85*0,9*1}{0,95*0,95} * \frac{24*18,5*4055}{20+16} = 42400 \frac{kWh}{rok} \quad (2-16)$$

2.3.1.2 Denní potřeba tepla na ohřev teplé užitkové vody

Denní předpokládaná spotřeba tepla pro ohřev teplé užitkové vody (TUV) se vypočítá dle vztahu

$$\dot{Q}_{TUV,d} = (1 + z) * \rho * c * \dot{V}_{6p} * (t_2 - t_1) \quad [\text{kJ/den}] \quad (2-17)$$

, kde

z	-	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TUV	[1]
ρ	-	hustota vody	[kg / m ³]
c	-	tepelná kapacita vody	[kJ/kg*K]
t_1	-	teplota studené vody	[°C]
t_2	-	teplota TUV	[°C]
\dot{V}_{6p}	-	celková potřeba teple vody za 1 den pro 6 osob	[m ³ /den]

Celková spotřeba vody:

$$\dot{V}_{6p} = n * \dot{V}_{1p} = 6 * 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{den}} = 0,36 \frac{\text{m}^3}{\text{den}} \quad (2-18)$$

, s

n	-	počet osob v budově	[1]
\dot{V}_{1p}	-	potřeba teplé vody za 1 den na osobu	[m ³ /den]

Dané a zvolené hodnoty:

$$z = 0,1$$

$$\rho = 998,2 \text{ kg / m}^3$$

$$c = 4,186 \text{ kJ/kg *K}$$

$$t_1 = 10 \text{ °C}, t_2 = 60 \text{ °C}$$

$$n = 6, \dot{V}_{1p} = 60 \text{ l/den} = 0,060 \text{ m}^3/\text{den}$$

Následným dosazením hodnoty do vztahu (2-17) získáváme denní potřebu tepla pro ohřev teplé užitkové vody za jeden den a za jeden rok:

$$\dot{Q}_{TUV,d} = (1 + 0,1) * 998,2 * 4,186 * 0,36 * (60 - 10) = 82734 \frac{kJ}{den} = 23 \frac{kWh}{den} = 8395 \frac{kWh}{rok} \quad (2-19)$$

Z toho vyplývá: celková spotřeba energie rodinného domu bude 51000 kWh/rok.

2.4 Souhrn

Souhrnně můžeme říci, že dům během roku spotřebuje 51000 kWh energie. Tuto energii musíme nahradit, pokud chceme v domě dostatečně zatopit. Budeme-li nahrazovat ztráty energie dostatečným přívodem, dosáhneme energetické rovnováhy. Tepelné ztráty představuje únik tepla z oken a zdí, další spotřebu tepelné energie máme při ohřevu TUV.

Dům je vybaven třemi způsoby přívodu energie, elektrické topení je však k dispozici výhradně pro případ nouze. Běžně se topí dřevem a plynem ve dvou různých zařízeních.

V další kapitole se budeme věnovat současnému stavu tepelné spotřeby domu, který následně vyhodnotíme. Tato analýza nám má pomoci identifikovat nedostatky, které musíme při návrhu zlepšování zohlednit a zpracovat.

3 Zhodnocení současného stavu

Rodinný dům je poměrně nově postavený, pochází z roku 1993. S ohledem na vlastní les však nebyl brán ohled na výši tepelných ztrát. V této době byla energie poměrně levná. Tato skutečnost vysvětluje velkou hodnotu součinitele prostupu tepla a tímto i poměrně velkou hodnotu tepelných ztrát.

V domě se topí převážně dřevem z vlastního lesa, pro pokrytí celé spotřeby se dokupuje černé uhlí. Po celou zimu je průměrná spotřeba uhlí asi 5000 kg. Pro spočítání nákladů musíme vzít v úvahu také tyto výdaje. Můžeme však předpokládat, že ceny energie po dlouhodobém trendu se budou stále zvedat.

Jelikož je dřevo dodáváno z vlastního lesa zdarma (nezaúčtování nákladů za přepravu, pracovní dobu, atd.), neexistuje přesný výpočet nákladů. Jelikož budeme měřit úspěšnost úrovní zlepšování vlastního návrhu v peněžních úsporách, bude pro nás vhodné tyto náklady vyčíslit. Bereme v úvahu, že za rok potřebujeme nahradit energetickou spotřebu kolem cca. 42400 (s ohřevem TUV 51000) kWh/rok, pomocí výhřevnosti dřev i uhlí je možné vypočítat spotřebu dřev. Zanedbáváme zde však, že TUV se ohřívá zemním plynem.

Výhřevnost dřeva vypočítáme pomocí energetické vlhkosti (vlhkost nevysušeného dřeva)

$$W_{\text{energetická}} = \frac{m_{\text{vlhkého}} - m_{\text{suchého}}}{m_{\text{vlhkého}}} \quad (3-1)$$

, S

$W_{\text{energetická}}$	- energetická vlhkost dřeva	[%],
$m_{\text{vlhkého}}$	- hmotnost vlhkého dřeva	[kg],
$m_{\text{suchého}}$	- hmotnost suchého dřeva	[kg].

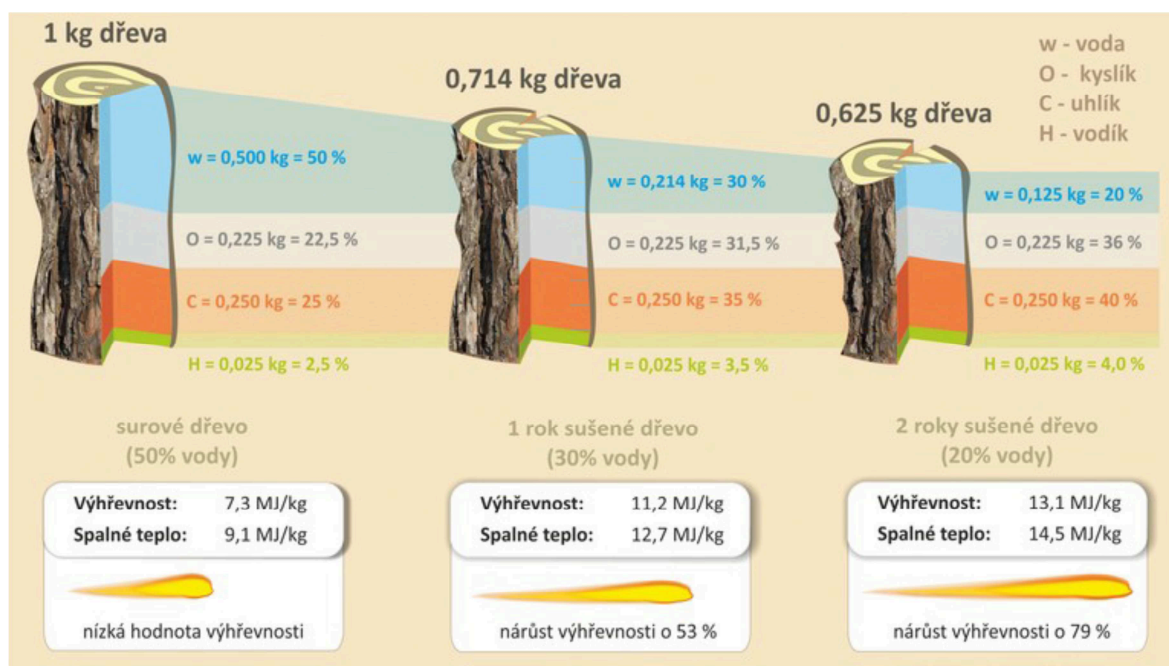
Výhřevnost pak můžeme vypočítat podle vzorce:

$$Q_i = Q_s - \frac{2441,5}{100} (W + 8,94 H) \quad (3-2)$$

, kde

- Q_i - výhřevnost [kJ/kg],
 Q_s - spalné teplo [kJ/kg],
 W - podíl vody,
 H - podíl vodíku^[28].

Jelikož není možné změřit ani zvážit každý špalek zvlášť, poslouží nám následující zjednodušené pravidlo palce (viz. obrázek 3). Nevysušené (čerstvě kácené) dřevo, které se v domě obvykle používá, má podle tohoto pravidla výhřevnost 7,3 MJ/kg. Výhřevnost černého uhlí je 22,5 MJ/kg. 42400 kWh/rok se rovnají 153000 MJ/rok, 51000 kWh/rok se rovnají 184000 MJ/rok.



Obrázek 3: Výhřevnost dřeva v závislosti na délce období sušení^{[2][1]}

Na základě spotřeby tepla a výhřevnosti dřeva a uhlí můžeme stanovit spotřebu dřeva. Pokud zformulujeme rovnice

$$Q_{ztrát} = Q_{i \text{ uhlí}} * m_{\text{uhlí}} + Q_{i \text{ dřevo}} * m_{\text{dřevo}} \quad (3-3)$$

do tvaru

$$m_{\text{dřevo}} = \frac{Q_{\text{ztrát}} - Q_{i \text{ uhlí}} * m_{\text{uhlí}}}{Q_{i \text{ dřevo}}} \quad (3-4)$$

Pro pokrytí energetických ztrát pak potřebujeme

$$m_{\text{dřevo}} = \frac{Q_{\text{ztrát}} - Q_{i \text{ uhlí}} * m_{\text{uhlí}}}{Q_{i \text{ dřevo}}} = \frac{153000 \text{ MJ} - 22,5 \text{ MJ/kg} * 5000 \text{ kg}}{7,3 \text{ MJ/kg}} = 5550 \text{ kg} \quad (3-5)$$

Pokud by kotel dále sloužil pro ohřev TUV, potřebujeme:

$$m_{\text{dřevo}} = \frac{Q_{\text{ztrát}} - Q_{i \text{ uhlí}} * m_{\text{uhlí}}}{Q_{i \text{ dřevo}}} = \frac{184000 \text{ MJ} - 22,5 \text{ MJ/kg} * 5000 \text{ kg}}{7,3 \text{ MJ/kg}} = 9800 \text{ kg} \quad (3-6)$$

Bylo by velice nákladné, jestliže by toto neskutečně velké množství potřebného dřeva bylo dodáno externí firmou. Pokud provedeme kalkulaci nákladů, vychází cena dřeva na 1,9 Kč/kg, cena uhlí na 4,9 Kč/kg. Bereme zde v úvahu pouze materiálové náklady, režijní náklady (manipulace, překládání, atd.) zanedbáváme. Tímto dostaneme následující současné náklady:

$$\begin{aligned} \text{Cena topení} &= m_{\text{dřevo}} * \text{cena}_{\text{dřevo}} + m_{\text{uhlí}} * \text{cena}_{\text{uhlí}} = 5550 \text{ kg} * 1,9 \frac{\text{kč}}{\text{kg}} + \\ &5000 \text{ kg} * 4,9 \frac{\text{kč}}{\text{kg}} = 10545 \text{ Kč} + 24500 \text{ Kč} = 35005 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (3-7)$$

,kde

$m_{\text{dřevo}}$	- spotřeba dřeva	[kg],
$m_{\text{uhlí}}$	- spotřeba uhlí	[kg],
$\text{cena}_{\text{dřevo}}$	- cena dřeva za kilo	[Kč/kg],
$\text{cena}_{\text{uhlí}}$	- cena uhlí za kilo	[Kč/kg].

Obdobně stanovíme cenu topení s pokrytím ohřevu TUV:

$$\begin{aligned} \text{Cena topení} &= m_{\text{dřevo}} * \text{cena}_{\text{dřevo}} + m_{\text{uhlí}} * \text{cena}_{\text{uhlí}} = 9800 \text{ kg} * 1,9 \frac{\text{kč}}{\text{kg}} + 5000 \text{ kg} * \\ &4,9 \frac{\text{kč}}{\text{kg}} = 18620 \text{ Kč} + 24500 \text{ Kč} = 43120 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (3-8)$$

V dnešní době je třeba zvážit, zda je topení nesuchým dřevem opravdu tak výhodné, jak se zdá. Pokud bychom tento výpočet provedli se dřevem, které je dva roky vysušené, dostaneme zcela jiné hodnoty. Předpokládáme, že po dvou letech se odpařilo 75% vody (viz. obrázek 3). Máme zde pouze 62,5% hmotnosti dřeva, výhřevnost se zvýšila na 13,1 MJ/kg. Dostaneme následující hodnoty (vypočítané také za jeden rok vysušeného dřeva):

Tabulka 2: Ceny vytápění závislé na době sušení

Hmotnost dřeva [kg]	Výhřevnost [MJ/kg]	Spotřeba dřeva [kg]	Cena (s TUV) [kč]
1	7,3	5550 (9800)	35100 (43200)
0,71	11,2	3620 (6390)	31400 (36700)
0,63	13,1	3100 (5460)	30400 (34900)

Vidíme však, že za daných okolností stoupají náklady na vytápění k 35000 Kč. Další náklady spojené s manipulací dřeva v předchozím výpočtu nejsou dopočítané.

V dnešní době existuje trend zaizolování domů. Český stát a Evropská Unie (dále pouze EU) tuto změnu podporují finančně, pomocí dotací. Jelikož dům je zatím ze všech stran bez izolace, máme zde šanci potenciálního zlepšení. Takové řešení nám může přinést velké snížení nákladů topení. Další možností, o které můžeme uvažovat, je používání nových, regenerativních zdrojů energie. Vedle dřeva, které už je regenerativní, máme na mysli hlavně využití solární energie. Následující návrhy řešení proto také zahrnují návrh solárního systému v domě, se záměrem snižování nákladů na tepelnou energii.

V následujících kapitolách se proto zabýváme dvěma možnostmi:

- částečnou anebo celkovou izolací domu,
- náhradou jednoho zdroje tepla jiným.

Další kapitola se zabývá zlepšovacemi návrhy.

4 Návrh zlepšování

Tato kapitola se zabývá návrhy ke zlepšení pro popsany rodinný dům. Podíváme se zde na možnosti, které nám mohou pomoci ušetřit peníze při zatápění pomocí snížení tepelných ztrát. Další návrhy řešení se koncentrují na možnosti změny kotle a na možnosti aplikace solárního systému v domě.

V první části této kapitoly se však zaměřujeme na možné izolace a izolační materiály.

4.1 Zlepšení izolace domu

Jak již bylo řečeno, byl rodinný dům vystaven v roce 1993. Při výstavbě se nedbalo na izolaci, ani na energetickou výhodnost. Máme zde však tři rozdílné základní součinitele prostupu tepla:

- stěny,
- okna,
- střechu.

Začínáme s návrhem izolace střechy.

4.1.1 Izolace střechy

Největší součinitel prostupu tepla má střecha. Zde existují pouze dřevěné desky a vnější kryt. Teplo se v domě nemůže udržovat, ale poměrně rychle vyjde přes střechu ven. Součinitel prostupu tepla k pro střechu se rovná $2,94 \text{ W/m}^2$.

Použijeme-li rovnici (2-6) určující součinitele prostupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,0025}{0,21} + \frac{0,01}{0,22} + \frac{0,0006}{0,35} + \frac{0,0005}{0,35} + \frac{1}{23}} = 2,94 \frac{W}{m^2 * K} \quad (2-6)$$

najdeme v ní možnost snížení tohoto součinitele. Následkem tohoto snížení by bylo snížení tepelných ztrát domu. Rovnice nám dává možnost snižovat tohoto součinitele v částech $\sum \frac{l_i}{\lambda_p}$.

To znamená, že každá vrstva izolace a (stavebního) materiálu se v této rovnici objevuje. Je také možné změnit pomocí přidání materiálu celkovou hodnotu tohoto výrazu. Tento způsob se používá např. při izolaci z venku, kde se přidá vrstva izolačního materiálu. V současné době se střecha skládá z následujících vrstev:

- střešní desky z měkkého dřeva $\lambda_p = 0,18$ 20 mm
- lepenka $\lambda_p = 0,21$ 2,5 mm
- sádrokarton $\lambda_p = 0,22$ 10 mm
- polyetylenová difuzní folie $\lambda_p = 0,35$ 0,6 mm
- polyetylenová parozábrana $\lambda_p = 0,35$ 0,5 mm

Možností izolace střechy je mnoho. Mezi ty, které můžeme v této souvislosti používat, patří mj.:

- polyuretanová (PUR) pěna^[4],
- izolace skelné vaty.

Součinitele tepelné vodivosti jsou:

- PUR $\lambda_p = 0,030$ 100 mm
(součinitel: střední hodnota údajů z internetu, minimální tloušťka 30 mm)
- skelná vata $\lambda_p = 0,038$ ^[35] 175 mm

Výpočet součinitele prostupu tepla nám pak dává pro PUR pěnu následující hodnotu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,0025}{0,21} + \frac{0,01}{0,22} + \frac{0,0006}{0,35} + \frac{0,0005}{0,35} + \frac{0,1}{0,03} + \frac{1}{23}} = 0,27 \frac{W}{m^2 * K} \quad (4-1)$$

Pro skelnou vatu dostaneme:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,18} + \frac{0,0025}{0,21} + \frac{0,01}{0,22} + \frac{0,0006}{0,35} + \frac{0,0005}{0,35} + \frac{0,175}{0,038} + \frac{1}{23}} = 0,20 \frac{W}{m^2 * K} \quad (4-2)$$

Jak vidíme, vložení jedné vrstvy izolačního materiálu došlo k výraznému snížení součinitele prostupu tepla. Musíme zde však vložit vrstvy tloušťky 100 mm (PUR pěna) anebo 175 mm (skelná vata). Tohoto součinitele můžeme dosadit do rovnice tepelné ztráty.

Jako příklad zde pro měsíc I:

$$Q = k * A * \Delta T * \Delta t = 0,27 \frac{W}{m^2 * K} * 161,2 m^2 * 22,4 K = 975 W \quad (4-3)$$

Součinitel prostupu je po izolaci PURem pouze kolem 9% bývalého koeficientu. Vezmeme-li v úvahu ještě lepší variantu 175 milimetrové skelné vaty, snížíme koeficient na 6,8%. Jelikož tepelné ztráty přes střechu jsou proporcionální k součiniteli prostupu tepla, snížíme tímto i tepelné ztráty na 9%, respektive 6,8% (viz. tabulka 1). Pro celoroční srovnání topného období to znamená, že jsme schopni snižovat tepelné ztráty ca. na polovinu. Při použití PUR se dostaneme místo 207000 W na 146000 W. Při použití skelné vaty zmíněné tloušťky se dostaneme na ještě větší snížení na 144500 W. Důvodem, proč tato hodnota neklesá ještě více, je, že tepelné ztráty se skládají ještě z dalších složek. Tyto složky se snažíme snížit v další podkapitole.

Tuto změnu můžeme použít i pro izolace sklepu. Plocha je stejná jako u střechy. Zde však počítáme s tím, že teplota ve sklepě se přesně nerovná okolním teplotám. Naopak, máme zde spíše odlišné hodnoty, které se určují dle stavby sklepa. Sklep v tomto domě, tzn. polovičně zabudovaný do země, má dle normy celoročně teplotu okolo 3°C.

Tato skutečnost sama o sobě nepředstavuje problém. Dojde však k předání nízkých teplot na podlahu a tímto do prvního patra. Opět dojde k energetickému zatížení domu tím, že se tato chlazená podlaha musí ohřát. Tepelné ztráty sice nejsou tak velké jak u neizolované střechy, jsou ale dle našeho schématu značné.

Součinitel prostupu tepla je pro podlahu $2,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Bereme-li v potaz normované 3°C ve sklepech, dostaneme zde následující tepelné ztráty:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{0,03}{1,16} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,2}{1,29} + \frac{0,1}{0,93} + \frac{1}{8}} = 2,29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (2-5)$$

$$\dot{Q} = k * A * \Delta T = 2,29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} * 161,2 \text{m}^2 * 17 \text{K} = 6275,52 \text{ W} \quad (4-4)$$

Aplikujeme-li zde také již vyzkoušené alternativy izolace (viz. u střechy), dostaneme se na menší hodnoty součinitele k .

- pro PUR:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{0,03}{1,16} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,2}{1,29} + \frac{0,1}{0,93} + \frac{1}{8} + \frac{0,1}{0,03}} = 0,27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (4-5)$$

- pro skelnou vatu:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{0,03}{1,16} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,2}{1,29} + \frac{0,1}{0,93} + \frac{1}{8} + \frac{0,175}{0,038}} = 0,20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (4-6)$$

Pomocí izolace se nám podařilo hodnoty součinitele k snížit cca. na pouhých 10%. Tepelné ztráty obdobně dosahují pouze hodnoty kolem 10% původních ztrát. Dle známé rovnice vypočítáme nové ztráty:

$$\dot{Q} = k * A * \Delta T = 0,27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} * 161,2 \text{m}^2 * 17 \text{K} = 739,91 \text{ W} \quad (4-7)$$

a

$$\dot{Q} = k * A * \Delta T = 2,29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} * 161,2 \text{m}^2 * 17 \text{K} = 6275,52 \text{ W} \quad (4-8)$$

Po návrzích na izolaci podlahy/sklepa se v další podkapitole věnujeme izolaci stěn.

4.1.2 Stěny

Obdobně jako tomu bylo u střechy, můžeme vypočítat také možnosti izolace stěny. Zatím

se stěna skládá z následujících materiálů a součinitelů:

- Omítka vápenná $\lambda_p = 0,88$ 20 mm
- Omítka vápenocementová $\lambda_p = 0,99$ 30 mm
- Beton ze škváry $\lambda_p = 0,74$ 450 mm
- koeficient vnější strany $a_e = 23$
- koeficient vnitřní strany $a_i = 8$

Současný součinitel prostupu tepla celé stěny je proto:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,03}{0,99} + \frac{0,45}{0,74} + \frac{1}{23}} = 1,21 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (2-4)$$

Cílem bude opět snižování tepelných ztrát pomocí snížení součinitele prostupu tepla. Chceme dosáhnout součinitele kolem $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Můžeme vypočítat požadovaný poměr součinitele tepelné vodivosti a tloušťky vrstvy:

$$\frac{l_m}{\lambda_p} = \frac{1 - k \cdot \left(\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e} \right)}{k} = \frac{1}{k} - \left(\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e} \right) \quad (4-9)$$

, kde

l_m - tloušťka daného materiálu [m]

Požadovaný poměr je proto (k je požadovaný součinitel s hodnotou $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$):

$$R = \frac{l_m}{\lambda_p} = \frac{1}{0,2} - \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,03}{0,99} + \frac{0,45}{0,74} + \frac{1}{23} \right) \quad (4-10)$$

, kde R nazýváme tepelný odpor.

Materiály, které pro tento účel mohou být použity, jsou:

- Fasádní polystyren 100mm $R=2,56$ 100 mm
- Fasádní polystyren 200mm $R=5,12$ 200 mm^[27]

Výsledný výpočet součinitele prostupu tepla pro fasádní polystyren 100 mm je potom:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,03}{0,99} + \frac{0,45}{0,74} + 2,56 + \frac{1}{23}} = 0,29 \frac{W}{m^2 * K} \quad (4-11)$$

Pokud bychom použili materiál dvojnásobně hrubý, dostali bychom ještě menší součinitel prostupu tepla než je požadováno:

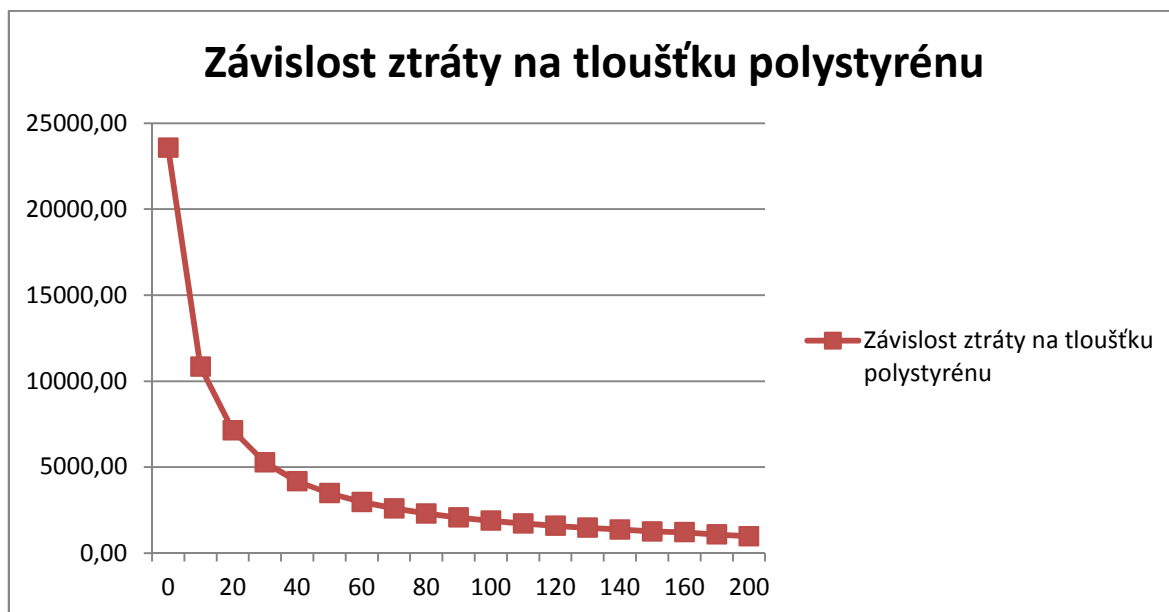
$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum \frac{l_i}{\lambda_p} + \frac{1}{a_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,88} + \frac{0,03}{0,99} + \frac{0,45}{0,74} + 5,12 + \frac{1}{23}} = 0,16 \frac{W}{m^2 * K} \quad (4-12)$$

Pomocí vnějšího zateplení izolačním materiálem můžeme zmenšit ztráty tepla v domě, které je možno vypočítat pro stěny obdobně jako v předchozí kapitole. Celková plocha stěn činí 233,14 m². Dle již známé rovnice vypočítáme tepelné ztráty (opět znázorněné pro měsíc I):

$$\dot{Q} = k * A * \Delta T = 0,16 \frac{W}{m^2 * K} * 233,14 m^2 * 22,4 K = 835,57 W \quad (4-13)$$

Vidíme zde, že tloušťka izolačního materiálu je téměř recipročně proporcionální k tepelným ztrátám. Pokud si zobrazíme tloušťku izolace oproti tepelným ztrátám, zjistíme, že toto tvrzení není tak úplně pravdou. Jedná se zde o vztah, kde tvář křivky je hyperbola. Bereme-li si části tohoto diagramu, můžeme je popsat jako téměř lineární vztah. Omezení je však ve velikosti intervalu.

Na obrázku 4 proto najdeme vliv izolace a vidíme, že má podstatný vliv na tepelné ztráty domu. Čím tlustší vrstva izolačního materiálu, tím menší dodatečný účinek.



Obrázek 4: Gráf vlivu změny tloušťky izolačního materiálu [mm] na tepelné ztráty [kW]

V další podkapitole se zabýváme okny.

4.1.3 Okna

Při ztrátě tepla hrají velkou roli také okna, u nichž má součinitel prostupu tepla v současné době hodnotu $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Celková plocha oken se pohybuje okolo $56,78 \text{ m}^2$. Dnešní okna však disponují zdaleka menším součinitelem prostupu tepla. A pokud uvažujeme o izolaci celého domu, není možné okna zanedbávat. Jsou totiž velice často zdrojem úniku tepelné energie.

Při výběru oken plastových se podle dnešních standard můžeme rozhodnout mezi dvojsklem a trojsklem. Značek a variant oken je opět mnoho, proto se i zde koncentrujeme na dvě varianty. Vybrány byla náhodně plastová okna PREMIUM Round Line. Pro dvousklenná okna je součinitel prostupu tepla mezi $0,9$ až $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Pro tato plastová okna s trojsklem má obdobný součinitel hodnotu kolem $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ^[26]. Existuje možnost nasadit i dveře se stejnou konfigurací. Zde je součinitel prostupu tepla kolem $6,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. I z optického hlediska je toto řešení výhodné.

Výpočet tohoto návrhu se opět zakládá na stejných pravidlech jako dříve. To znamená, že opět vypočítáme tepelné ztráty na základě součinitele prostupu tepla. Toto uvádíme opět na měsíci leden.

Pro okna (dvojskla) dostaneme:

$$Q = k * A * \Delta T = 1 \frac{W}{m^2 * K} * 56,78m^2 * 22,4K = 1271,88W \quad (4-14)$$

Pro trojsklenná okna jsou tepelné ztráty o něco nižší, totiž:

$$Q = k * A * \Delta T = 0,7 \frac{W}{m^2 * K} * 56,78m^2 * 22,4K = 890,31W \quad (4-15)$$

Dveře mají plochu 2,42 m². Tato plocha činí pouze 4% plochy oken a pokud se podíváme do tabulky tepelných ztrát existujících v současné době, vidíme že tyto 4% mají hodnotu ztráty odpovídající 10% ztrát oken. Dosadíme-li do rovnice nového součinitele prostupu tepla, dostaneme následující hodnoty tepelných ztrát skrz dveře:

$$Q = k * A * \Delta T = 1 \frac{W}{m^2 * K} * 2,42m^2 * 22,4K = 54,21W \quad (4-15)$$

Pro trojsklenná okna jsou tepelné ztráty o něco nižší, tedy:

$$Q = k * A * \Delta T = 0,7 \frac{W}{m^2 * K} * 2,42m^2 * 22,4K = 37,95W \quad (4-16)$$

Jak vidíme, je touto změnou možno snížit tepelné ztráty skoro o 90% (bereme-li v potaz možnost trojskla). Absolutní hodnota šetření však pro samotné dveře není zvlášť velká. Plocha je zde příliš malá na to, aby se v celkovém počtu projevíly tyto velké změny.

Po výpočtu všech ztrát a možností zlepšení se v další podkapitole zabýváme kombinací a vzájemném využití možností a návrhů řešení.

4.1.4 Výpočet výsledných ztrát

V této podkapitole srovnáváme možnosti izolace a jejich dopad na tepelné ztráty domu. Pro lepší srovnání začínáme opět s tabulkou zobrazující původní situaci:

Tabulka 3: Tepelné ztráty domu ve [W] a v [kWh]

Parametry	stěna	střecha	podlaha	okna	dveře
k [W/(m ² *K)]	1,21	2,94	2,29	2,8	6,5
A [m ²]	233,14	161,2	161,2	56,78	2,42
Parametry	Hodnota				
t požadované [°C]	20				
T2v [°C]	3				
Tvmin [°C]	-6				

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
t	-2,4	-0,7	3,2	8,2	13,2	16,4
Q' (stěna) [W]	6319,03	5839,46	4739,27	3328,77	1918,28	1015,56
Q' (střecha) [W]	10615,99	9810,31	7961,99	5592,35	3222,71	1706,14
Q' (podlaha) [W]	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52
Q' (okna) [W]	3561,24	3290,97	2670,93	1876,01	1081,09	572,34
Q' (dveře) [W]	352,35	325,61	264,26	185,61	106,96	56,63
Suma [W]	27124,12	25541,86	21911,97	17258,26	12604,56	9626,19
Počet dnů/měsíc	31	28	31	30	31	30
Energie požadovaná [kWh]	20180,35	17164,13	16302,51	12425,95	9377,79	6930,85
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t	17,8	17,2	13,6	8,9	3,7	-0,4
Q' (stěna) [W]	620,62	789,88	1805,44	3131,30	4598,22	5754,83
Q' (střecha) [W]	1042,64	1327,00	3033,14	5260,60	7725,03	9668,13
Q' (podlaha) [W]	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52
Q' (okna) [W]	349,76	445,16	1017,50	1764,72	2591,44	3243,27
Q' (dveře) [W]	34,61	44,04	100,67	174,60	256,40	320,89
Suma [W]	8323,15	8881,59	12232,26	16606,75	21446,60	25262,64
Počet dnů/měsíc	31	31	30	31	30	31
Energie požadovaná [kWh]	6192,42	6607,90	8807,23	12355,42	15441,55	18795,40

Suma	Celkem		Topné období	
	Celkem	Za měsíc	Celkem	Za měsíc
Tepelné ztráty Q' [W]	206819,95	17235,00	155152,21	12929,35
Energie požadovaná [kWh]	150581,51	12548,46	112665,31	9388,78

Bereme-li v úvahu veškeré možnosti izolace navržené v kapitole, dostaneme však o mnohem menší ztráty a zatížení.

Tabulka 4: Tepelné ztráty po optimalizaci

Parametry	stěna	střecha	podlaha	okna	dveře
k [W/(m ² *K)]	0,16	0,27	0,21	0,7	0,7
A [m ²]	233,14	161,2	161,2	56,78	2,42
Parametry	Hodnota				
t požadované [°C]	20				
T2v [°C]	3				
Tvmin [°C]	-6				

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
t	-2,4	-0,7	3,2	8,2	13,2	16,4
Q' (stěna) [W]	835,57	772,16	626,68	440,17	253,66	134,29
Q' (střecha) [W]	974,94	900,95	731,20	513,58	295,96	156,69
Q' (podlaha) [W]	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48
Q' (okna) [W]	890,31	822,74	667,73	469,00	270,27	143,09
Q' (dveře) [W]	37,95	35,07	28,46	19,99	11,52	6,10
Suma [W]	3314,25	3106,40	2629,56	2018,23	1406,90	1015,64
Počet dnů/měsíc	31	28	31	30	31	30
Energie požadovaná [kWh]	2465,80	2087,50	1956,39	1453,12	1046,73	731,26
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t	17,8	17,2	13,6	8,9	3,7	-0,4
Q' (stěna) [W]	82,07	104,45	238,74	414,06	608,03	760,97
Q' (střecha) [W]	95,75	121,87	278,55	483,12	709,44	887,89
Q' (podlaha) [W]	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48
Q' (okna) [W]	87,44	111,29	254,37	441,18	647,86	810,82
Q' (dveře) [W]	3,73	4,74	10,84	18,80	27,61	34,56
Suma [W]	844,47	917,83	1357,99	1932,64	2568,43	3069,72
Počet dnů/měsíc	31	31	30	31	30	31
Energie požadovaná [kWh]	628,29	682,87	977,75	1437,88	1849,27	2283,87

Suma	Celkem		Topné období	
	Celkem	Za měsíc	Celkem	Za měsíc
Tepelné ztráty Q' [W]	24182,05	2015,17	18639,22	1553,27
Energie požadovaná [kWh]	17600,74	1466,73	13533,84	1127,82

Jak můžeme vidět v tabulkách 4, zmenšila se energetická zátěž na 24200 W ročně. V topném období (trvajícím od října do dubna) je tato hodnota ještě nižší. Tím vznikají pro celkové topné období tepelné ztráty v hodnotě 18,7 kW.

Pokud srovnáme tyto hodnoty s hodnotami existujícími v současné době, projevuje se poměr snížení ztrát. Tento poměr je zhruba 1:11:

$$\frac{ztráty_{nové}}{ztráty_{staré}} = \frac{18,7W}{155,2W} = \frac{1}{12,05} = 41,2\% \quad (4-17)$$

Tepelné ztráty domu mohou být tímto sníženy na pouhých 41,2 % současné hodnoty.

Pro tento výpočet byla použita nejpřísnější možnost izolace, kterou jsme zatím našli. To zobrazuje pouze obrovský potenciál snížení tepelných ztrát, který v tomto domě ještě existuje. Musíme si uvědomit, že často chybí vůle a finanční síla k tomu, aby tyto změny byly provedeny ihned nebo aby k nim vůbec někdy došlo. Pro tento případ existuje více možností, jak pokračovat.

Bereme-li brát v potaz pouze izolaci střechy pomocí skelné vaty, můžeme naše tepelné ztráty v topném období snížit na polovinu:

Tabulka 5: Tepelné ztráty po izolaci střechy

Parametry	stěna	střecha	podlaha	okna	dveře
k [W/(m ² *K)]	1,21	2,29	2,29	2,8	6,5
A [m ²]	233,14	161,2	161,2	56,78	2,42
Parametry	Hodnota				
t požadované [°C]	20				
T2v [°C]	3				
Tvmin [°C]	-6				

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
t	-2,4	-0,7	3,2	8,2	13,2	16,4
Q' (stěna) [W]	6319,03	5839,46	4739,27	3328,77	1918,28	1015,56
Q' (střecha) [W]	8268,92	7641,36	6201,69	4355,95	2510,21	1328,93
Q' (podlaha) [W]	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52
Q' (okna) [W]	3561,24	3290,97	2670,93	1876,01	1081,09	572,34
Q' (dveře) [W]	352,35	325,61	264,26	185,61	106,96	56,63
Suma [W]	24777,05	23372,92	20151,67	16021,86	11892,05	9248,98
Počet dnů/měsíc	31	28	31	30	31	30
Energie požadovaná [kWh]	18434,13	15706,60	14992,84	11535,74	8847,69	6659,26
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t	17,8	17,2	13,6	8,9	3,7	-0,4
Q' (stěna) [W]	620,62	789,88	1805,44	3131,30	4598,22	5754,83
Q' (střecha) [W]	812,13	1033,61	2362,55	4097,54	6017,11	7530,62
Q' (podlaha) [W]	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52	6275,52
Q' (okna) [W]	349,76	445,16	1017,50	1764,72	2591,44	3243,27
Q' (dveře) [W]	34,61	44,04	100,67	174,60	256,40	320,89

Suma [W]	8092,63	8588,21	11561,67	15443,69	19738,69	23125,13
Počet dnů/měsíc	31	31	30	31	30	31
Energie požadovaná [kWh]	6020,92	6389,63	8324,40	11490,10	14211,85	17205,10

Suma	Celkem		Topné období	
	Celkem	Za měsíc	Celkem	Za měsíc
Tepelné ztráty Q' [W]	192014,54	16001,21	142631,00	11885,92
Energie požadovaná [kWh]	139818,26	11651,52	103576,36	8631,36

Podíváme-li se na další položku, kterou lze poměrně rychle a levně snížit, může být použita stejná technologie pro poměrně jednoduchou a účinnou izolaci podlahy. Opět můžeme pro tento návrh vypočítat ztráty pro současnou situaci za předpokladu izolace střechy a podlahy. Poté dostaneme:

Tabulka 6: Tepelné ztráty v případě izolace střechy i podlahy

Parametry	stěna	střecha	podlaha	okna	dveře
k [W/(m ² *K)]	1,21	0,27	0,21	2,8	6,5
A [m ²]	233,14	161,2	161,2	56,78	2,42
Parametry	Hodnota				
t požadované [°C]	20				
T2v [°C]	3				
Tvmin [°C]	-6				

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI
t	-2,4	-0,7	3,2	8,2	13,2	16,4
Q' (stěna) [W]	6319,03	5839,46	4739,27	3328,77	1918,28	1015,56
Q' (střecha) [W]	974,94	900,95	731,20	513,58	295,96	156,69
Q' (podlaha) [W]	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48
Q' (okna) [W]	3561,24	3290,97	2670,93	1876,01	1081,09	572,34
Q' (dveře) [W]	352,35	325,61	264,26	185,61	106,96	56,63
Suma [W]	11783,04	10932,47	8981,15	6479,47	3977,78	2376,70
Počet dnů/měsíc	31	28	31	30	31	30
Energie požadovaná [kWh]	8766,58	7346,62	6681,98	4665,22	2959,47	1711,22
Měsíc	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t	17,8	17,2	13,6	8,9	3,7	-0,4
Q' (stěna) [W]	620,62	789,88	1805,44	3131,30	4598,22	5754,83
Q' (střecha) [W]	95,75	121,87	278,55	483,12	709,44	887,89
Q' (podlaha) [W]	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48	575,48
Q' (okna) [W]	349,76	445,16	1017,50	1764,72	2591,44	3243,27
Q' (dveře) [W]	34,61	44,04	100,67	174,60	256,40	320,89
Suma [W]	1676,23	1976,43	3777,64	6129,23	8730,98	10782,37
Počet dnů/měsíc	31	31	30	31	30	31
Energie požadovaná [kWh]	1247,11	1470,46	2719,90	4560,15	6286,31	8022,08

Suma	Celkem		Topné období	
	Celkem	Za měsíc	Celkem	Za měsíc
Q'	77603,48	6466,96	63818,71	5318,23
Energie požadovaná [kWh]	56437,10	4703,09	46328,93	3860,74

Poměr nové hodnoty ztrát ke staré hodnotě ztrát pro topné období je poté:

$$\frac{ztráty_{nové}}{ztráty_{staré}} = \frac{63,9W}{155,2W} = \frac{1}{12,05} = 41,2\% \quad (4-18)$$

Izolací střechy a podlahy jsme schopni snížit tepelné ztráty domu na 41,2% původní hodnoty. To znamená, že nejhorší část úniku tepla domu se skrývá v částech, které jsou nedostatečně izolovány tenkou vrstvou dřeva z konstrukčních důvodů.

Porovnáme-li spotřebu dřeva s předchozím stavem (necháme si zatím výhřevnost čerstvě káceného dřeva a dodatečný nákup uhlí), snižujeme těmito úpravami spotřebu na:

$$m_{dřevo} = \frac{Q_{ztrát} - Q_{i\text{uhlí}} * m_{uhlí}}{Q_{i\text{dřevo}}} = \frac{153000 \text{ MJ} - 22,5 \text{ MJ/kg} * 5000 \text{ kg}}{7,3 \text{ MJ/kg}} = 5550 \text{ kg} \quad (3-5)$$

na novou spotřebu

$$m_{dřevo} = \frac{Q_{ztrát} - Q_{i\text{uhlí}} * m_{uhlí}}{Q_{i\text{dřevo}}} = \frac{63000 \text{ MJ} - 22,5 \text{ MJ/kg} * 5000 \text{ kg}}{7,3 \text{ MJ/kg}} = -6780 \text{ kg} \quad (4-19)$$

Předpokladem tohoto výpočtu je dále použití denostupňová metody pro výpočet energetické spotřeby (viz. kapitola 2). Pro aproximaci ztrát použijeme hodnotu ztrát jako třetinu původních ztrát. Místo 153 GJ máme nyní v rovnici ztráty v hodnotě 63 GJ.

Výsledek svědčí o tom, že po úpravě izolace pro tento dům bohatě stačí 3000 kg uhlí. Zvolená kombinace dřeva/uhlí (z hlediska spálených hmotností) bude určitě o mnohem nižší než předtím. Náklady na vytápění budou rovněž o mnoho menší.

Při stavbě nebyl na tepelné ztráty domu vůbec brán ohled. Proto je dům z hlediska tepelných ztrát v takovém stavu, ve kterém se nyní nachází. V dnešní době by se již dům s takovou izolací obvykle nestavěl. Normy a ceny energie jsou poněkud jiné než na

začátku devadesátých let, kdy byl tento dům postaven.

Tato cesta izolace proti nejhorším ztrátám určitě není optimální. Jedná se pouze o opravné opatření proti velice vysokému úniku tepla. Ještě lepší řešení mohou být uskutečněna díky dotacím (např. Nové zelené úspory), které jsou poskytovány za předpokladu snížení tepelných ztrát nebo energetického zatížení.

Pomocí těchto programů se nabízí šance získat veřejné finanční zdroje na opravu domu. V tomto případě by se tedy mohlo vyplatit opravit další části stavby, neboť tento dům může mít při dostatečných opravách jednoznačně nárok na čerpání těchto zdrojů. Tyto možnosti musíme brát v úvahu při následném ohodnocení a rozhodnutí se pro konkrétní návrh.

V další podkapitole se věnujeme problematice kotlu v domě.

4.1.5 Cenový odhad

Při návrhu investice do tepelné izolace s účelem snižovat energetickou náročnost domu, musíme brát do úvahy i ze stránky nákladů. Z hlediska technického je zřejmé, že by tato investice přispěla. Z hlediska ekonomického to však tak zřejmé není. Důvodem je, že existuje určitá doba návratnosti této investice. Jedná se tedy o čas, kdy se rovnají náklady a výnosy – v tomto případě náklady a úspory. Pro izolaci domu bereme internetovou stránku jako informační zdroj. Ceny určitě u jiných dodavatelů jsou jiné, celkově však vychází přijatelný odhad nákladů^[44].

U střechy musíme počítat s plochou $161,2\text{m}^2$. Můžeme používat PUR pěnu (regulární cena cca. 4000 kč/m^3) anebo skleněnou vatu (regulární cena cca. 300 kč/m^2 ^[21]). Pro tloušťku 100 mm potřebujeme $16,12\text{ m}^3$. Výsledně dostaneme následující ceny:

17m^3	PUR	68000 kč
----------------	-----	----------

161,2m² Minerální vata 48360 Kč

Obdobně zjistíme ceny pro izolaci fasády. Celkem máme 233,14 m². Jako materiál zvolíme fasádový polystyrén v tloušťce 200 mm. Podle zjištění cen v internetu je cena za metr čtvereční cca. 250 Kč^[8]. Čistá cena materiálu je 58500 Kč. Tato cena však neobsahuje žádné další práce a materiály (omítky, atd.). Cena celkem přesahuje cenu materiálu. Počítáme zde s 1000 Kč za metr čtvereční^[11]. V tomto případě se zvyšuje cena na 234000 Kč.

Další část návrhu spočívá ve výměně oken. Tato výměna znamená, že vyměníme stará okna za modernější trojsklenná. I tato investice je investice do úspor energetické náročnosti. Stará okna nemůžeme používat. Nejlevnější dvojokna jsou k dispozici za cca. 20000 Kč za kus i s prací. Počítáme však s 25000 Kč za kus, protože nepředpokládáme zde, že vyjde nejlepší nákup. Pro jednodušší výpočet počítáme s tím, že metr čtvereční vychází na 5000 Kč^[14]. Celková plocha je 56,78 m², které potřebujeme nechat vyměnit. Celková cena je poté kolem 284000 Kč.

Obdobně jak v předchozích kapitolách můžeme vypočítat cenu pro celé topné období. Otázkou však zůstane, který směr paliv (dřevo a uhlí) chceme používat. Nejlevnější bude topit pouze dřevem (cena 1,9 Kč/kg) a vůbec nepoužívat uhlí (4,9 Kč/kg). V realitě však musíme také mít příslušné místnosti, kde toto dřevo skladovat. Proto uvažujeme minimální úsporu jako úsporu dřeva:

$$Cena\ topení = m_{dřevo} * cena_{dřevo} + m_{uhlí} * cena_{uhlí} = 16165\text{kg} * 1,9 \frac{\text{Kč}}{\text{kg}} = 30714\text{Kč}$$

(4-20)

Pokud topíme pouze uhlí, tak máme náklady stále 24500 Kč za topné období.

představuje náklady šetřené v případě, že izolujeme dům a že topíme pouze uhlím. V případě, že používáme však pouze dřevo, dostaneme

$$m_{dřevo} = \frac{Q_{ztrát} - Q_{i\text{uhlí}} * m_{uhlí}}{Q_{i\text{dřevo}}} = \frac{63000\text{MJ} - 22,5\text{MJ/kg} * 0\text{kg}}{7,3\text{MJ/kg}} = 8630\text{kg}$$

(4-21)

Podobně jako v rovnici (3-8) stanovíme cenu na topné období na 16400 Kč. Tyto dvě čísla, které jsme právě našli, nejsou tak odlišné. Počítáme s 20500 Kč jako průměrem. Původní náklady byly 35000 Kč. To znamená, že ušetříme během jednoho topného období 11000 Kč. Obdobně stanovíme cenu topení s dodatečným pokrytím ohřevu TUV. Původní náklady byly 43200 Kč na jedno topné období. Nové náklady činí 23500 Kč (dřevo), 24500 Kč (uhlí), 24000 Kč (průměr). Ušetříme tím částku 19200 Kč za topné období. Cena ohřevu TUV je pak cca. 3500 Kč za topné období. Předpokladem pro tato čísla je, že nemáme energetickou bilanci přesně rovnající se nule. V tomto případě bychom zapomněli na nerovnoměrnost – nemůžeme používat energetické zisky z léta pro zatopení v zimním období.

$$m_{\text{dřevo}} = \frac{Q_{\text{ztrát}} - Q_{i \text{ uhlí}} * m_{\text{uhlí}}}{Q_{i \text{ dřevo}}} = \frac{90000 \text{ MJ} - 22,5 \text{ MJ/kg} * 0 \text{ kg}}{7,3 \text{ MJ/kg}} = 12328 \text{ kg} \quad (4-22)$$

V další podkapitole se věnujeme problematice kotlu v domě.

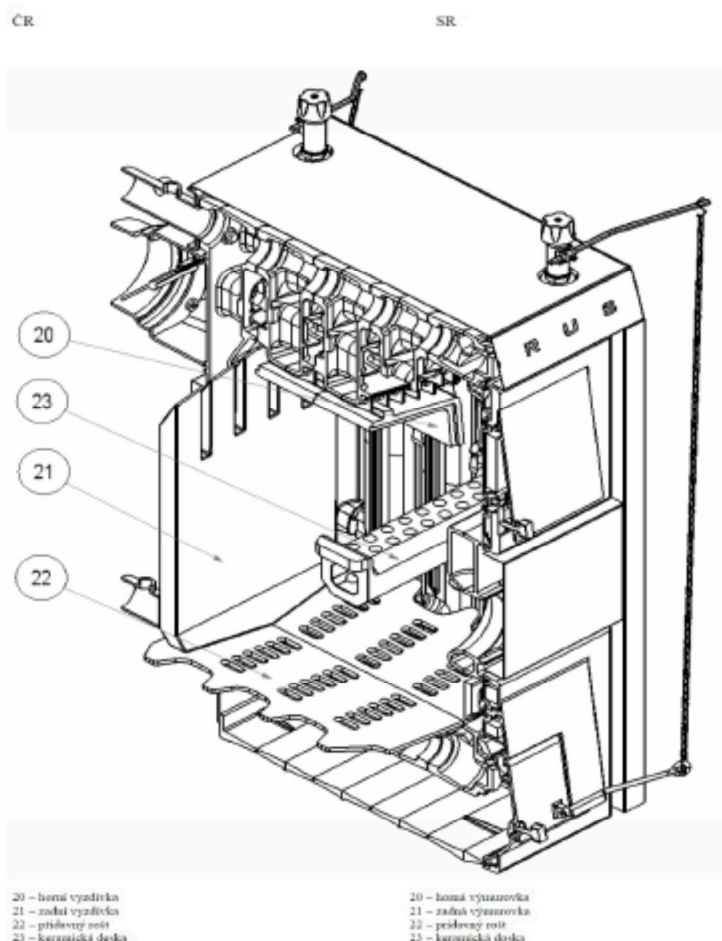
4.2 Kotel

V současné době funguje v rodinném domě tři roky starý kotel. Tato skutečnost by nepředstavovala příliš velký problém. Jedná se však o kotel typu Viadrus U26. Tento kotel se od roku 2014 již nesmí vyrábět a doprodávat se smějí pouze poslední zásoby. Důvodem je přísnější zákon na ochranu ovzduší, jež se vztahuje na kotle. Tento zákon nadále zakazuje provoz kotlů nedodržujících normy pro rok 2022 a dobu pozdější.

Kotel je zatím v dobrém stavu a v pořádku, dimenzován pro spalování tuhých paliv. Dotace Moravskoslezského kraje (dále jen MSK) se však vztahují pouze na plně automatické kotle pro maloobjemová paliva, např. štěpinky, brikety, anebo uhlí ořechu 2 (s velikostí štěpinek). Koupě nového kotle s ručním příkládáním dřeva neumožňuje čerpat dotace MSK.

Velice jednoduchý způsob jak zajistit vytrvalý a legální provoz kotle U26 je

dodatečné vložení keramické vložky do kotle. Tato keramická deska umožňuje vychytání tuhých částic před komínem. Proto funguje jako filtr. Pomocí této keramické vložky dosáhne kotel potřebné hodnoty znečištění a je proto zprovoznitelný.



Obrázek 5: Kotel U26 v současném provedení^[22]

Na schématu je možno vidět kotel U26, který je k dostání v současné době. Na něm najdeme také již vloženou keramickou desku s číslem 23. Tuto vložku lze koupit také zvlášť pro dodatečnou montáž do již používaného kotle. Materiálová cena je poměrně levná (do 1000 Kč)^[28] a proto je tato varianta jediná, kterou pro tento kotel navrhuji.

Koupě nového kotle v této situaci nepřinese dostatečný účinek ve srovnání s dalšími problematikami v domě. Proto této možnosti řešení nevěnujeme žádnou další

pozornost a tento návrh považujeme za vyhovující a racionální.

Další podkapitola je zaměřena na možnosti slunečního vytápění rodinného domu.

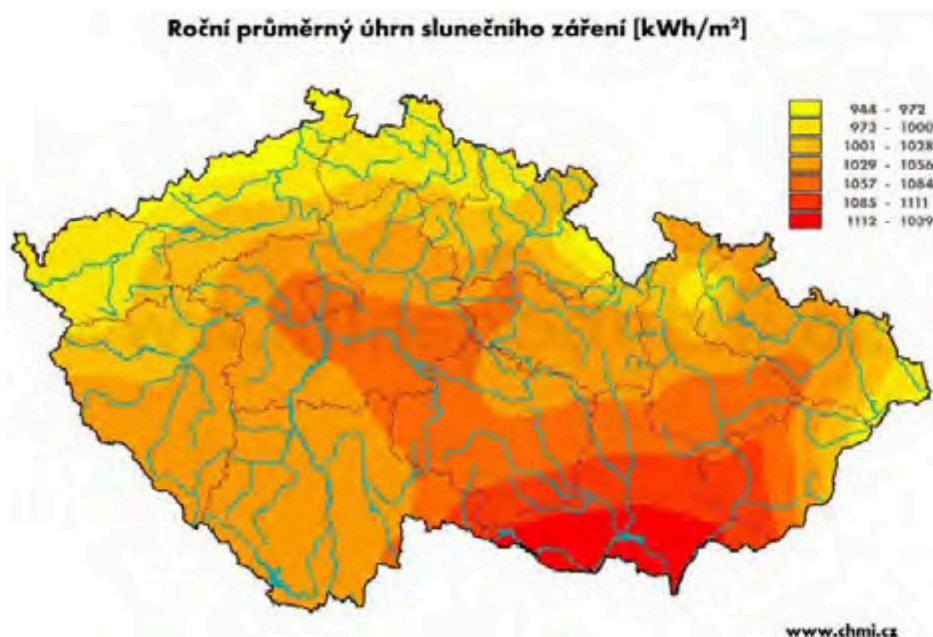
4.3 Návrh solárního okruhu

V této podkapitole se věnujeme návrhu solárního okruhu, tzn. solárním kolektorům a jejich možnému využití ve zmíněném rodinném domě. Výpočet přínosu solárních kolektorů vypočítáme jak pro stávající stav, tak i pro možná zlepšení. Kombinace návrhu izolace společně se solárním okruhem by mohla přinést další možnosti zlepšení.

Pro výpočet solárního okruhu začínáme u lokality, která má podstatný vliv na energetické zisky domu pomocí solárních kolektorů.

4.3.1 Lokalita

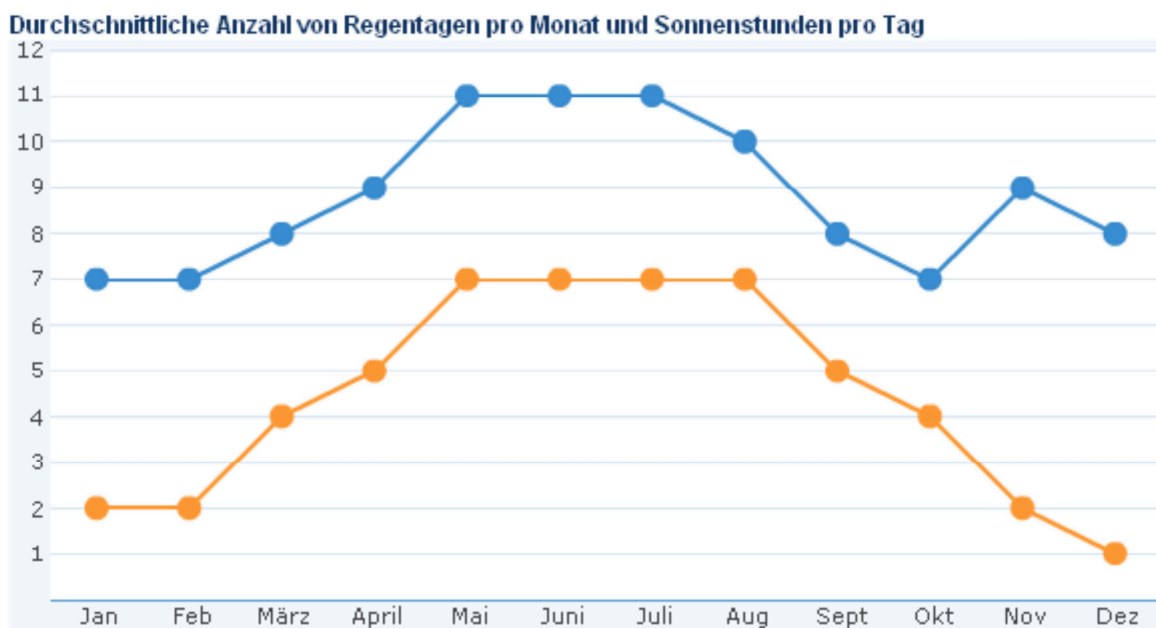
První statistický údaj, který nám může pomoci, je roční průměrný úhrn slunečního záření (obrázek 6). Tato statistika nám poskytuje údaj, jakou energii můžeme průměrně získat ze slunečního záření na metr čtvereční. Následně se musíme pokusit toho co nejvíce využít.



Obrázek 6: Roční průměrný úhrn slunečního záření^[30] zdroj: ČHMU

Vesnice Vojkovice leží v Moravskoslezském Kraji, ve slezské části, již východně od řeky Ostravice. Pro Vojkovice to znamená, že obec má roční průměrný úhrn slunečního záření kolem 973 až 1000 a 1001 až 1038 kWh/m². Za účelem zpracování počítáme s průměrem a pro lehčí výpočet zaokrouhlíme na 1000 kWh/m².

Bohužel práce s takovými údaji není úplně jednoduchá, protože sluneční záření není po celý rok konstantní. Z tohoto důvodu potřebujeme další údaje, které nám umožňují počítat alespoň s měsíčním slunečním zářením pro daný region. Na obrázku 11 je dolní graf průměrné sluneční hodiny v daném měsíci.



Obrázek 7: Měsíční sluneční úhrn v Ostravě ^[19]

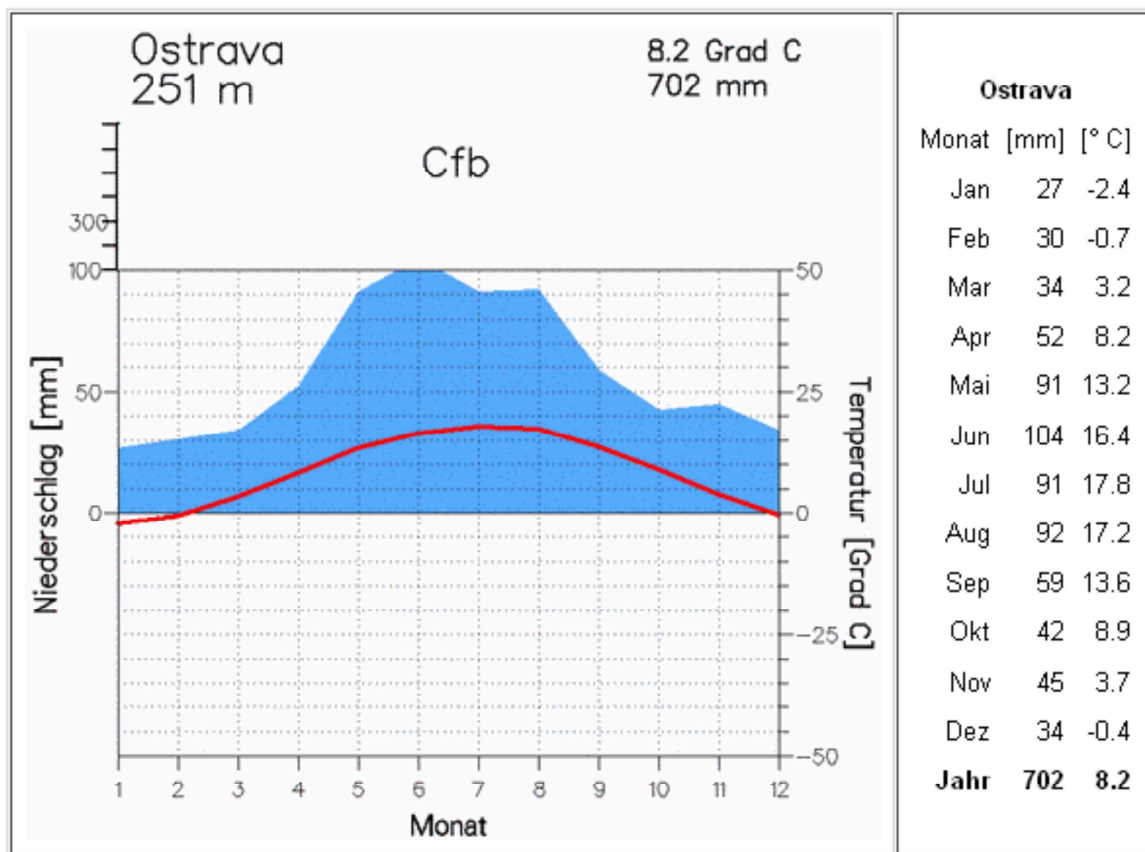
Není důležité pouze to, jak dlouho slunce svítí, ale také s jakou intenzitou. Pro Ostravu (na severní šířce 49,5°) pesimisticky počítáme pro severní šířku 50°. Pro Vojkovice počítáme dále se součinitelem znečištění atmosféry $Z = 3$ (pro venkov).

Součinitel znečištění atmosféry $Z=3$

Měsíc	Intenzita záření I (W/m^2) v denní hodině							
	12	11 13	10 14	9 15	8 16	7 17	6 18	5 19
XII.	580	565	470	280	-	-	-	-
XI. a I.	650	620	550	400	-	-	-	-
X. a II.	770	750	700	600	390	-	-	-
IX. a III.	880	860	815	730	620	405	-	-
VIII. a IV.	950	935	900	840	760	610	380	-
VII. a V.	980	970	940	900	825	715	570	280
VI.	1000	990	970	930	860	750	625	400

Obrázek 8: Intenzita záření I pro 50° severní šířky ^[42]

Dále potřebujeme průměrné teploty každého měsíce pro danou oblast. Protože pro Vojkovice nejsou k dispozici specifické údaje, použijeme čísla z města Ostravy. Důležité jsou pro nás především průměrné teploty.



Obrázek 9: Objem srážek a průměrné teploty pro každý měsíc v Ostravě ^[25]

Pomocí všech těchto údajů můžeme vypočítat teoretické množství sluneční energie Q_{TD} v Ostravě (pesimistický výpočet pro 50° severní šířky). Matematický vztah je:

$$Q_{TD} = I * \tau \quad (4-23)$$

α (°)	$Q_{TD}(\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1})$						
	XII	I	II	III	IV	V	VI
0	1,09	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16
30	2,35	2,96	4,48	6,44	7,98	9,56	9,98
60	3,00	3,71	5,26	6,44	7,41	8,06	8,48
90	3,11	3,96	5,00	5,56	5,19	4,49	4,31

Obrázek 10: Teoretické množství sluneční energie na 50° severní šířky ^[31]

Jestli používáme za sluncem se otáčející kolektory, dostaneme následující hodnoty:

$Q_{TD} \text{ (kWh.m}^{-2}.\text{den}^{-1}\text{)}$						
XII	I	II	III	IV	V	VI
	XI	X	IX	VIII	VII	
3,50	4,30	6,25	8,84	11,30	13,09	13,95

Obrázek 11: Teoretické množství sluneční energie s kolektory^[3]

Tyto hodnoty (z obrázku 10 a 11) bohužel nemají téměř žádný význam. Problémem je to, že slunce sice svítí, ale světlo se nedostane vždy až na povrchu, na kolektory. Mohou za to mraky. Mraky nám blokují sluneční světlo a tak je výkon v tomto momentě menší až minimální. Proto kromě těchto optimálních teoretických hodnot ještě existují takzvané skutečné hodnoty. Skutečné množství sluneční energie Q_{SD} v Ostravě lze vypočítat pomocí rovnice:

$$Q_{SD} = Q_{TD} * \tau_{rel} \quad (4-24)$$

Tabulka 7: Hodnoty pro τ a τ_{rel} ^[29]

	I	II	III	IV	V	VI
τ [h]	8,260	10,120	12,000	13,900	15,700	16,340
τ_{rel}	0,270	0,300	0,300	0,370	0,470	0,450
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
τ [h]	15,700	13,900	12,000	10,120	8,260	7,850
τ_{rel}	0,550	0,550	0,430	0,380	0,190	0,180

Následně dostaneme následující hodnoty:

Tabulka 8: Výpočet Q_{SD} pro 0° sklon kolektoru

	I	II	III	IV	V	VI
Q_{TD}	1,550	2,740	4,930	6,730	8,380	9,160
τ_{rel}	0,270	0,300	0,300	0,370	0,470	0,450
Q_{SD}	12,974	23,016	45,849	74,703	122,097	123,660
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{TD}	8,380	6,730	4,930	2,740	1,550	1,090
τ_{rel}	0,550	0,550	0,430	0,380	0,190	0,180
Q_{SD}	142,879	114,747	63,597	32,377	8,835	6,082

Pro sklony (0° , 30° , 60° , 90°) kolektorů:

Tabulka 9: Výpočet Q_{SD} pro různé sklony kolektorů

0°	12,974	23,016	45,849	74,703	122,097	123,660
	142,879	114,747	63,597	32,377	8,835	6,082
30°	24,775	37,632	59,892	88,578	139,289	134,730
	162,998	136,059	83,076	52,774	16,872	13,113
60°	31,053	44,184	59,892	82,251	117,434	114,480
	137,423	126,341	83,076	61,963	21,147	16,740
90°	33,145	42,000	51,708	57,609	65,419	58,185
	76,555	88,490	71,724	58,900	22,572	17,354

Tabulka 10: Výpočet Q_{SD} pro neustále se otáčející kolektory

Q_{SD}	35,991	52,500	82,212	125,430	190,721	188,325
	223,185	192,665	114,036	73,625	24,510	19,530

Rozdíly ve výpočtu Q_{SD} ve srovnání s jiným výpočty např. na internetu existují z toho důvodu, že počítáme s daty z Prahy pro Q_{TD} , ale s τ_{rel} pro Ostravu.

4.3.2 Výběr kolektorů

Když teď víme, jaké ztráty a spotřeby existují, můžeme si zkusit vybrat solární kolektory. Skutečné sluneční záření Q_{SD} jsme již vypočítali výše. Toto sluneční záření je specifické pro každý měsíc v roce (empiricky vypočítáno). Pro nás to znamená, že musíme najít solární kolektory, které mají možnost sbírat potřebnou energii. Důležitá je v tomto případě charakteristická křivka účinnosti, která nám spojí výkon a účinnost. Výsledkem je potom potřebná velikost plochy kolektorů a tím také celkové číslo těchto kolektorů. Můžeme si vybrat z následujících kolektorů:

- AF24UE4 (Sunwin)^[15]
- TwinSolar compact 2.0^[45]
- Ikarus WK2^{[46] [47]}

Tabulka 11: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 0^\circ$

0°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	12,974	23,016	45,849	74,703	122,097	123,660
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6

	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	13,38	7,44	3,68	2,26	1,38	1,37
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	16,28	8,80	3,98	2,51	1,49	1,48
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	21,81	10,06	4,56	2,69	1,63	1,58
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	142,879	114,747	63,597	32,377	8,835	6,082
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,18	1,47	2,66	5,22	19,65	29,36
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	1,26	1,57	2,98	5,85	22,31	40,52
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	1,35	1,71	3,12	6,46	33,91	86,62

Z tabulky 11 vyplývá, že kolektor 1 potřebuje nejmenší počet kolektorů (protože má největší účinnost a také největší plochu absorberu). Potřebná čísla nejsou pro žádný kolektor stejná v jednotlivých měsících. Musí být proto zvolena taková velikost, aby nám to nejvíce vyhovovalo.

Jestli vypočítáme průměrné číslo kolektorů, dostaneme pro kolektor č. 1 7,42, pro kolektor č. 2 9,09 a pro kolektor č. 3 14,63. Celkové plochy by byly a) 15,4 m² b) 17,6 m² pro kolektor 1, a) 16,74 m² b) 18,60 m² pro kolektor 2 a a) 25,2 m² b) 27 m². Varianta a zaokrouhlená dolů, varianta b nahoru. Pro úhly 30°, 60° a 90° dostaneme následné výsledky:

Tabulka 12: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 30^\circ$

30°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	24,775	37,632	59,892	88,578	139,289	134,730
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	7,01	4,55	2,82	1,91	1,21	1,25
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	8,53	5,38	3,05	2,11	1,31	1,35

η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol 3)	11,42	6,15	3,49	2,27	1,42	1,45
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	162,998	136,059	83,076	52,774	16,872	13,113
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,04	1,24	2,03	3,20	10,29	13,62
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	1,11	1,33	2,28	3,59	11,68	18,79
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol 3)	1,19	1,44	2,39	3,97	17,76	40,18

Tabulka 13: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 60^\circ$

60°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	31,053	44,184	59,892	82,251	117,434	114,480
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	5,59	3,88	2,82	2,05	1,44	1,48
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	6,80	4,58	3,05	2,28	1,55	1,59
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol 3)	9,11	5,24	3,49	2,44	1,69	1,71
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	137,423	126,341	83,076	61,963	21,147	16,740
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,23	1,34	2,03	2,73	8,21	10,67
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	1,31	1,43	2,28	3,06	9,32	14,72
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol 3)	1,41	1,55	2,39	3,38	14,17	31,47

Tabulka 14: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 90^\circ$

90°	I	II	III	IV	V	VI
------------	----------	-----------	------------	-----------	----------	-----------

Q_{SD}	33,145	42,000	51,708	57,609	65,419	58,185
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	5,24	4,08	3,27	2,93	2,58	2,90
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	6,37	4,82	3,53	3,25	2,79	3,14
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol 3)	8,54	5,51	4,05	3,49	3,03	3,37
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	76,555	88,490	71,724	58,900	22,572	17,354
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	2,21	1,91	2,36	2,87	7,69	10,29
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	2,36	2,04	2,64	3,22	8,73	14,20
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol 3)	2,53	2,21	2,77	3,55	13,27	30,36

0°:	kolektor 1: 7,42 → 15,4 m ²	17,6 m ²
	kolektor 2: 9,09 → 16,7 m ²	18,6 m ²
	kolektor 3: 14,63 → 25,2 m ²	27 m ²
30°:	kolektor 1: 4,13 → 8,8 m ²	11 m ²
	kolektor 2: 5,02 → 9,3 m ²	11,16 m ²
	kolektor 3: 4,99 → 7,2 m ²	9 m ²
60°:	kolektor 1: 3,57 → 6,6 m ²	8,8 m ²
	kolektor 2: 4,32 → 7,4 m ²	9,3 m ²
	kolektor 3: 4,23 → 7,2 m ²	9 m ²
90°:	kolektor 1: 3,98 → 6,6 m ²	8,8 m ²
	kolektor 2: 4,75 → 7,4 m ²	9,3 m ²
	kolektor 3: 4,69 → 7,2 m ²	9 m ²

Dle tohoto výsledku tedy potřebujeme tři nebo čtyři kolektory pro požadovaný výkon. Volíme čtyři kolektory typu kolektoru 1 (AF24UE4). Zvolený úhel je 60° . Poskytované výkony těchto tří kolektorů typu 1 jsou:

Tabulka 15: Energetická bilance solárních panelů pro $\alpha = 60^\circ$

	I	II	III	IV	V	VI	
Plocha [m²]	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	
Výkon kol. [kW]	199,5	287,7	390,0	535,6	764,7	745,5	
Výkon pož. [kW]	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	
ΔQ	-75,5	12,7	115,0	260,6	489,7	470,5	
Q+	0,0	12,7	115,0	260,6	489,7	470,5	
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Součet
Plocha [m²]	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	105,6
Výkon kol. [kW]	894,9	822,7	541,0	403,5	135,8	88,3	5809,2
Výkon pož. [kW]	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	3300,0
ΔQ	619,9	547,7	266,0	128,5	-139,2	-186,7	2509,2
Q+	619,9	547,7	266,0	128,5	0,0	0,0	2910,6

4.3.3 Výběr kolektorů s přenosem tepla

Pro výběr kolektorů s přenosem tepla je možné, že hodnoty budou jiné než předtím. Tato skutečnost závisí to na tom, kolik vody potřebujeme. Tepelné ztráty, které jsme již vypočítali výše (viz. tabulka 1), musí být kompenzovány. Pro dosažení nových potřebných výkonů je ale také zapotřebí více kolektorů. Musíme provést nový výpočet obdobně k výchozímu výpočtu.

Tabulka 16: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha=0^\circ$ s teplem

0°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	12,974	23,016	45,849	74,703	122,097	123,660
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	626,50	348,31	172,49	105,87	64,77	63,95
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%

Č. (kol. 2)	762,19	411,99	186,39	117,29	69,99	69,11
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol 3)	1020,96	470,87	213,71	125,99	76,08	74,16
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	142,879	114,747	63,597	32,377	8,835	6,082
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	55,35	68,92	124,35	244,26	920,00	1374,61
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	59,08	73,57	139,54	274,10	1044,64	1896,87
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol 3)	63,37	79,92	146,07	302,63	1587,44	4055,37

Jelikož potřebujeme solární panely pouze v topném období (říjen až duben), můžeme spotřebu pro tyto měsíce koncentrovat na spotřeby pro TUV. Výpočty byly provedeny i pro další úhly sklonu solárních zařízení (viz. příloha A).

Z důvodu, že by veškeré solární kolektory musely poskytnout stejný výkon, se na rozhodnutí nic nezmění. I zde zvolíme 223 kolektorů typu 1 (AF24UE4) v úhlu 60°. Celková plocha absorberu je 490,6 m². V závěru pak dostaneme následující výsledky:

Tabulka 17: Energetická bilance kolektorů za rok

	I	II	III	IV	V	VI	
Plocha [m2]	490,6	490,6	490,6	490,6	490,6	490,6	
Výkon kol. [kW]	10082,2	17886,0	35629,7	58052,5	94882,8	96097,5	
Výkon pož. [kW]	12875,0	12875,0	12875,0	12875,0	275,0	275,0	
ΔQ	-2792,8	5011,0	22754,7	45177,5	94607,8	95822,5	
Q+	0,0	5011,0	22754,7	45177,5	94607,8	95822,5	
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Součet
Plocha [m2]	490,6	490,6	490,6	490,6	490,6	490,6	5887,2
Výkon kol. [kW]	111032,8	89171,1	49421,9	25160,5	6865,8	4726,4	599009,1
Výkon pož. [kW]	275,0	275,0	12875,0	12875,0	12875,0	12875,0	104100,0
ΔQ	110757,8	88896,1	36546,9	12285,5	-6009,2	-8148,6	494909,1
Q+	110757,8	88896,1	36546,9	12285,5	0,0	0,0	511859,7

Mnohem elegantnější by však byla tato řešení, která by měla celoroční ΔQ kolem 0. To by znamenalo, že naše kolektory by vygenerovaly právě tolik energie, kolik bychom potřebovali za jeden rok. Potřebovali bychom 38 kolektorů s celkovou plochou 83,8 m² (viz. A-4 v příloze A).

Tabulka 18: Téměř neutrální energetická bilance

	I	II	III	IV	V	VI	
Plocha [m²]	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	
Výkon kol. [kW]	1718,0	3047,8	6071,4	9892,4	16168,4	16375,4	
Výkon pož. [kW]	12875,0	12875,0	12875,0	12875,0	275,0	275,0	
ΔQ	-11157,0	-9827,2	-6803,6	-2982,6	15893,4	16100,4	
Q+	0,0	0,0	0,0	0,0	15893,4	16100,4	
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Součet
Plocha [m²]	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	1003,2
Výkon kol. [kW]	18920,4	15195,1	8421,7	4287,4	1170,0	805,4	102073,3
Výkon pož. [kW]	275,0	275,0	275,0	12875,0	12875,0	12875,0	91500,0
ΔQ	18645,4	14920,1	8146,7	-8587,6	-11705,0	-12069,6	10573,3
Q+	18645,4	14920,1	8146,7	0,0	0,0	0,0	73705,9

Při tomto propočtu si musíme uvědomit, že tak jak je toto řešení na jednu stranu výhodné, tak nepraktické je na stranu druhou. Pro nás je výkon kolektoru právě v zimě či v topném období důležité. V období, kdy nemusíme topit, tak vygenerovanou energii nemůžeme používat. Proto je neutrální bilance z praktického důvodu nesprávným kritériem.

Z důvodu, že dům není pořádně zateplený, je spotřeba tepla velice vysoko, abychom nahradili ztráty. Pro tento dům potřebujeme skoro 578,6 m² solárních panelů. Taková investice se vyplatí v časovém rozmezí větším, než je život člověka, a především tehdy, souvisí-li s ní izolování domu. To má snížit tepelné ztráty, což vede k tomu, že spotřeba tepla je poměrně nízká. Zatím je pro tento dům možné žít s takovými ztrátami, protože energie za topení přichází z velké části ze dřeva. Toto dřevo může rodina poměrně levně získat z vlastního lesa, a proto zatím postrádala motivaci k změně. Dům zatím bohužel není připravený pro nejdlejší opatření. Existuje však možnost připravit pouze ohřev TUV přes solární kolektory. Proto se této možnosti budeme i nadále věnovat.

4.3.3.1 Výpočet pro izolovaný dům

Vypočítáme nejvýhodnější scénář, pro nejvíce izolovaný dům (dle předchozího návrhu) počet potřebných kolektorů pro pokrytí veškerých ztrát tepelným přínosem solárních kolektorů. Jak již víme, je nejvhodnější variantou sklon na jih s úhlem 60°. Následně vznikne tabulka:

Tabulka 19: Potřeba solárních kolektorů pro izolovaný dům

60°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	31,053	44,184	59,892	82,251	117,434	114,480
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	261,75	181,44	132,05	96,15	1,44	1,48
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	318,44	214,61	142,69	106,53	1,55	1,59
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol 3)	426,56	245,28	163,60	114,42	1,69	1,71
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	137,423	126,341	83,076	61,963	21,147	16,740
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,23	1,34	2,03	127,63	384,36	499,43
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	1,31	1,43	2,28	143,22	436,44	689,17
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol 3)	1,41	1,55	2,39	158,13	663,22	1473,40

K pokrytí veškeré tepelné ztráty by bylo potřeba maximálně 99 kolektorů na průměrnou zimu. V létě pak bohatě stačí dva kolektory (opět mluvíme o typu 1, který pro tento dům a tuto polohu již dříve představoval optimální variantu). Obdobně volíme i zde způsob zprůměrování.

V průměru potřebujeme 35,2 kolektorů pro izolovaný dům. Volili bychom 36

kolektorů. Nicméně takový počet kolektorů vyjde opět příliš draho na to, abychom tuto možnost mohli zrealizovat. Proto se přikláním k rozhodnutí, že solární kolektory budou použity pouze pro ohřev TUV. Na níže uvedeném obrázku vidíme nerovnoměrnost potřeby solárních kolektorů.

Tabulka 20: Přínos a požadavek tepelné energie solárních kolektorů

	I	II	III	IV	V	VI	
Plocha [m²]	79,2	79,2	79,2	79,2	79,2	79,2	
Výkon kol. [kW]	3895,7	2887,4	5751,9	9371,7	15317,4	15513,5	
Výkon pož. [kW]	12175,0	12175,0	12175,0	12175,0	275,0	275,0	
ΔQ	-8279,3	-9287,6	-6423,1	-2803,3	15042,4	15238,5	
Q+	0,0	0,0	0,0	0,0	15042,4	15238,5	
	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Součet
Plocha [m²]	79,2	79,2	79,2	79,2	79,2	79,2	950,4
Výkon kol. [kW]	17240,1	14395,3	7978,4	4061,8	1108,4	763,0	98284,6
Výkon pož. [kW]	275,0	275,0	275,0	12175,0	12175,0	12175,0	86600,0
ΔQ	16965,1	14120,3	7703,4	-8113,2	-11066,6	-11412,0	11684,6
Q+	16965,1	14120,3	7703,4	0,0	0,0	0,0	69069,8

V případě tohoto domu je proto zbytečné uvažovat o vytápění pouze pomocí solárních panelů, obzvláště pokud existuje poměrně levný zdroj energie (vlastní dřevo). Rozdíly potřeby tepla v létě a v zimě nevedou k dobrému využití solárních kolektorů. Tato investice proto vychází příliš draze na to, aby byla použita v normálním rodinném domě.

Dále se zabýváme zařízením pro ohřev TUV pomocí solárních kolektorů.

4.3.4 Zařízení pro TUV

Co se zařízení TUV týká, musíme počítat se zařízením pro čtyři sluneční kolektory. Ty samotné nám však nestačí. Je zapotřebí dalších strojů, které by nám umožňovaly vygenerované teplo ze sluneční energie používat. Potřebujeme něco, co nám umožní toto teplo využít: tepelný výměník. Pomocí tohoto výměníku můžeme energii převést z koloběhu vody slunečních kolektorů do domácí sítě. Voda, kterou jsme nechali ohřát ve

slunečních kolektorech, zůstane v koloběhu. Když se dostane do styku s vodou na TUV, předává část své energie (tepla) na tuto vodu a jde dále do koloběhu.

Aby se tato voda vůbec mohla pohybovat v koloběhu, potřebujeme čerpadlo, které tento koloběh umožní. Toto čerpadlo musí být dostatečně silné, aby mohlo zaprvé zajistit koloběh, což znamená, aby pokrylo všechny ztráty, které se v tomto koloběhu objeví. Za druhé je důležité, aby toto čerpadlo zajistilo nějaká rychlost koloběhu, která je větší než pouze rychlost pro pokrytí ztrát. Nezbytné je také vedení, které nám zajistí koloběh vody.

Další důležitou věcí je připojení výměníku tak, aby bylo zajištěno, že jiné formy předávání energie můžou být vynechány, pokud nám stačí energetický přítok ze sluneční energie. Anebo musíme výměník zapojit, když sluneční energie z jakéhokoliv důvodu nestačí. Alternativu ke sluneční energii představuje boiler, který získává svou energii z plynu. Je proto logické ho připojit, ale používat ho pouze tak málo, jak je nutné. Topný systém však z výše uvedených důvodů zůstane separátní.

4.3.4.1 Čerpadlo

Má-li být zvoleno čerpadlo, které má odpovídat požadavkům systému, musíme tyto požadavky nejdříve určit. Potřebujeme trubky, které vedou ze střechy do sklepa, kde je již umístěný boiler a kde je dostatek místa na další zařízení. Umístění kolektorů na střeše je poměrně flexibilní, protože střecha je rovná. Chceme je však v úhlu 60°, orientované na jih. Největší rozdíl je 9250 mm mezi podlahou sklepa a nejvyšším bodem domu. Pokud víme, že voda musí protékat vzdáleností dvakrát více než devět metrů (jedenkrát nahoru, jedenkrát dolů), potřebujeme zcela jistě dobré čerpadlo. Dále je třeba počítat s tím, že v jisté místnosti musí být umístěno toto zařízení. Tato místnost se může nacházet v jihozápadním rohu. Takže můžeme v nejnegativnějším případě počítat s potřebou trubek kolem čtyř metrů horizontálně, opět dvakrát. Jelikož ale boiler stojí v sousedním pokoji na severozápadě, potřebujeme další trubky, které nám zajistí další horizontální převod. Potřebujeme, opět dvakrát, dalších šest metrů. Jedná se pouze o trubky pro koloběh vody

pro kolektory. Nesmíme zapomenout na to, že trubky působí nejen na rychlost a tlak (a tímto i na ztráty) v tomto systému, ale i na každou zatáčku. Podle tohoto plánu jich bude minimálně šest v úhlu 60°.

Dále nesmí být opomenuty solární kolektory. Tyto kolektory mají také určitou výšku a určité ztráty. Výška je okolo 2064 mm nebo 1154 mm. Záleží na tom, jak tyto kolektory uspořádáme- zda je položíme (výška menší než šířka), nebo mají stát (výška větší než šířka). Oba způsoby jsou u modelu AF24UE4 možné. Jestliže chceme čtyři kolektory uspořádat vedle sebe, potřebujeme je nechat stát. Pokud je chceme mít ve dvou řadách, mohli bychom je také položit. Dále musím vzít v úvahu, že s objemem, kterým tento prvek protéká, potřebujeme také nahradit následné ztráty tlaku v celém systému, které stoupají s větším průtokem.

Celkové ztráty celého koloběhu solárních kolektorů pak můžeme zahrnout s:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{vedení}} + \Delta p_{\text{kolektory}} + \Delta p_{\text{zásobník}} + \Delta p_{\text{filtr}} = \Delta p_{\text{čerpadlo}} \quad (4-25)$$

Pro ztráty vedení máme pak:

$$\Delta p_{\text{vedení}} = \frac{\rho u^2}{2} * \left(\frac{\lambda * l}{d} + \Sigma \xi \right) \quad (4-26)$$

Abychom mohli vypočítat rychlost tekutiny u, musíme znát průtok a plochu.

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{6 \frac{\text{min}}{\text{s}}}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{100 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi * D^2}{4}} \quad (4-27)$$

Obecně můžeme počítat s tím, že hraniční hodnota pro u je 1 m/s. Musíme to dosadit do rovnice:

$$u = \sqrt{\frac{0,1 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi * 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4}}} = 0,0113 \text{m} = 11,3 \text{mm} \quad (4-28),$$

volím 16 mm.

Pro D = 15 mm můžeme vypočítat výslednou rychlost:

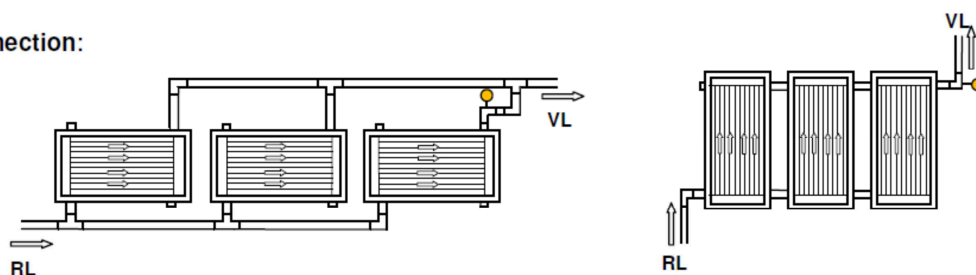
$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{10^{-4} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * 0,016 m^2} = 0,498 \frac{m}{s} \quad (4-29)$$

ζ můžeme určit podle norem. $V^{[9]}$ existuje tabulka, která umožňuje hodnoty pouze kopírovat z empirických dat. Počítáme s $d = 0,016$ m, $k = 0,0014$ mm (plastové trubky), $\rho = 1,016$ kg/m³, $\lambda = 7,43$, $\zeta_{ohyb} = 0,21$ (90° , $R/d = 1$), $\zeta_{ventil} = 3,3 + 8d[\text{mm}]/1000$. Pro nás to znamená:

$$\Delta p_{vedení} = 1,016 \frac{kg}{m^3} \frac{(0,498 \frac{m}{s})^2}{2} * \left(\frac{7,43 * 38 m}{0,016 m} + 6 * 0,21 + 2 * \left(3,3 + \frac{8 * 16}{1000} \right) \right) = 2224 Pa \quad (4-30)$$

Ztrátu kolektorů můžeme určit z diagramů na factsheet. Ztráty závisí na průtoku kapaliny, pro $6 = 360$ l/h bychom dostali tlakové ztráty 10 mbar = 1 kPa. Kdybychom uvažovali o sériovém řazení, museli bychom tuto hodnotu zčtyřnásobit, jestli je budeme mít paralelně, zůstane hodnota na 1 kPa.

Parallel Connection:



Obrázek 12: Sériové zařazení kolektorů

Dále potřebujeme ještě zásobník pro naši kapalinu a to z toho důvodu, že kapalina se roztahuje. Abychom mohli tlak a rychlost udržet na určité hodnoty, tak použijeme právě tento zásobník. Objem tohoto zásobníku musí být o 25 až 30 procent větší než jedna denní spotřeba celého domu. Denní spotřeba jedné osoby je 60 litrů, pro šest osob můžeme proto počítat s 360 litry. Zásobník by proto měl mít objem 450 až 470 litrů. Jelikož zásobník s takto specifickými rozměry jen těžko najdeme, vybíráme model Vaillant autoSTOR VIH S 500 s objemem 500 litrů. Ztráty jsou poměrně malé, kolem 5 mbar = 0,5 kPa.

Filtr je důležitým prvkem v celém obvodu. Potřebujeme ho, abychom mohli zaručit, že se žádné malé částice nedostanou do obvodu na takové místo, kde by mohly škodit.

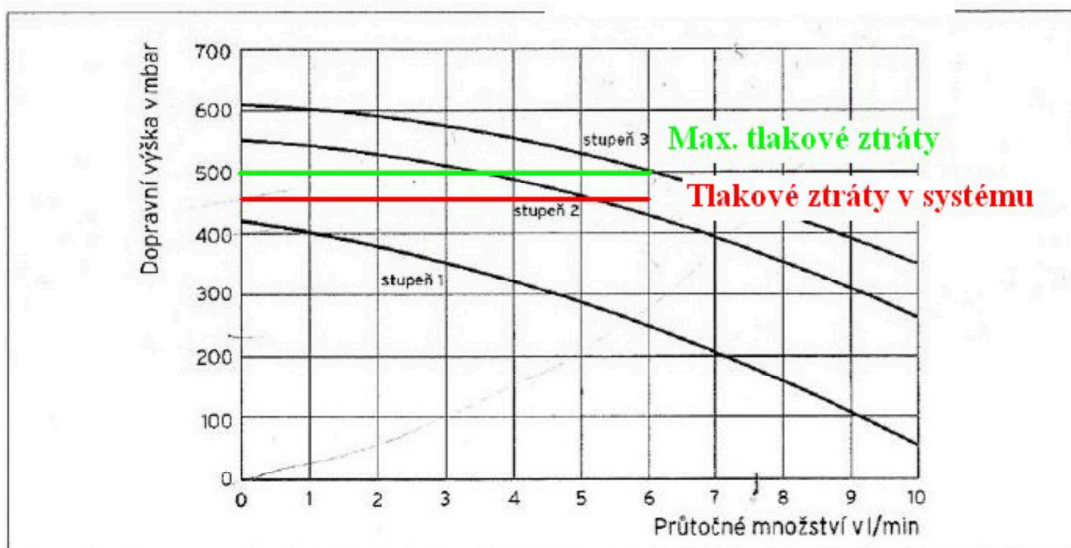
Například by mohly ucpat některé trubky. Hlavně trubky s malými poměry v kolektorech by mohly být ucpány. Výsledkem by bylo, že by tento kolektor nepůsobil tak, jak jsme chtěli a neposkytl by nám energii. Abychom se do takové situace nedostali, potřebujeme nějaký filtr. Odpor takového filtru se pohybuje kolem 0,5 kPa.

Poslední součástí systému, která je velmi důležitá, je výměník tepla. Tento výměník potřebujeme, protože teplo z koloběhu slunečních kolektorů musíme dostat do vnitřního systému TUV. Energie je předávána přes výměník. Firma Vaillant nabízí takzvaný kombinovaný zásobník, který navíc funguje jako tepelný výměník. Proto nepotřebujeme další soustavu s tímto koloběhem a nyní můžeme určit požadované čerpadlo.

Čerpadlo musí být dostatečné, aby mohlo nahradit všechny ztráty v koloběhu. Ztráty jsou celkově

$$\Delta p = 2,5 \text{ kPa} + 1 \text{ kPa} + 0,5 \text{ kPa} + 0,5 \text{ kPa} = \Delta p_{\text{čerpadlo}} \quad (4-31)$$

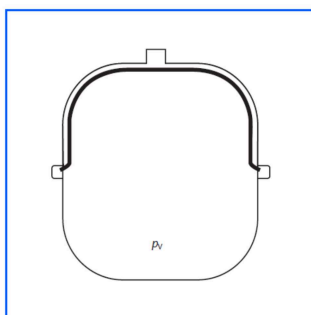
Volím čerpadlovou skupinu 6 l/min od Vaillant. Toto čerpadlo umí na třetím stupni nahradit až 5 kPa ztrát a odpovídá tak našim požadavkům. Pokud bereme v úvahu tlakové ztráty čerpadla (kolem cca. 5%), tak i tyto ztráty pomocí tohoto čerpadla pokryjeme.



Obrázek 13: Graf čerpadlové skupiny 6 l/min od firmy Vaillant^[39]

4.3.4.2 Expanzní nádoba

Dalším důležitým prvkem, který nesmí chybět v celém návrhu, je expanzní nádoba. Tato nádoba je potřebná proto, že objem vody v celém systému není konstantní. Tento objem se změní s teplotou (a tím s hustotou) vody. To znamená, že musíme vypočítat objem koloběhu za normálních podmínek a expanzní nádoba pak musí pomoci zkompenzovat objemové rozdíly. Používá k tomu membránu, která uvolní místo, když je potřebné.



Obrázek 14: Expanzní membránová nádoba^[10]

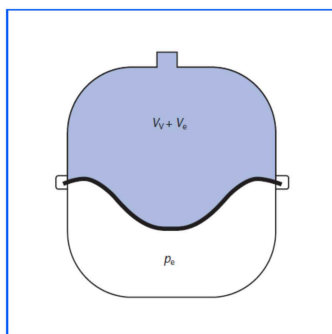
Pro výpočet expanzní nádoby potřebujeme zaprvé určit přetlak membránové expanzní nádoby, který musí být minimálně 1,2 bar.

$$p_v = 0,1 * h_{stat} + 0,4 \text{ bar} = 0,1 * 9 + 0,4 = 1,3 \text{ bar} \quad (4-32)$$

Z toho pak můžeme určit plnicí tlak, který se určuje rovnicí,

$$p_0 = p_v + 0,3 \text{ bar} = 1,6 \text{ bar} \quad (4-33)$$

abychom mohli vypočítat tlak při teplotě kolem 120 °C. Všechny tyto údaje jsou nezbytné k tomu, abychom mohli vypočítat membránovou expanzní nádobu. Pro tuto nádobu potřebujeme určit tlak p_e a objemy V_v i V_e (viz. obrázek 15).



Obrázek 15: Expanzní membránová nádoba pod tlakem^[10]

V_D je rovnice objemu odpařování, což je celkový objem všech kolektorů v systému.

$$V_D = n_k * V_k = 4 * 1,57 \text{ l} = 6,28 \text{ l} \quad (4-34)$$

Tlak p_e je závislý na spouštěcím tlaku pojistného ventilu. Když je tento tlak menší než 3 bary, platí rovnice

$$p_e \leq p_{SV} - 0,2 \text{ bar}, \text{ jinak} \quad (4-35)$$

$$p_e \leq 0,9 p_{SV} \quad (4-36)$$

Když počítáme s tím, že pojistný ventil by pustil 3 bary přesně, použijeme první rovnici a dostaneme

$$p_e \leq 3 \text{ bar} - 0,2 \text{ bar} = 2,8 \text{ bar} \quad (4-37)$$

Abychom se dostali k tomu, že můžeme vypočítat expanzní nádobu, je daná rovnice

$$V_{n,min} = (V_A + n * V_D) \frac{p_e+1}{p_e-p_0} \quad (4-38)$$

Jeden prvek však pro tento výpočet stále chybí. Veličina V_A ještě není určena. Tato veličina představuje celkový objem vody v trubkách systému. Pro tento výpočet máme 38 metrů trubek s vnitřním průměrem 16 mm, což nám dává objem

$$V_A = l * A = 38 \text{ m} \frac{\pi}{4} D^2 = 38 \text{ m} \frac{\pi}{4} (0,016 \text{ m})^2 = 7,6 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 7,6 \text{ l} \quad (4-39)$$

Když teď všechny hodnoty dosadíme do výsledné rovnice, vyjde nám minimální požadovaný objem expanzní nádoby $V_{n,min}$.

$$V_{n,min} = (V_A + n * V_D) \frac{p_e+1}{p_e-p_0} = (7,6 \text{ l} + 0,073 * 6,28 \text{ l}) \frac{2,8+1}{2,8-1,6} = 25,52 \text{ l} \quad (4-40)$$

Z toho vypočtu vyplývá, že potřebujeme expanzní membránovou nádobu velikosti 25,52 l. Protože takové nádoby jsou však pouze ve velikost 25 l a 35 l, tak volíme 35-litrovou nádobu.

V celém oběhu se používá kapalina, která je směsicí některých látek. Samotná voda nese moc velké riziko, že zmrzne v kolektorech. Proto se volí např. glykoly anebo další nemrznoucí směsi. Levnější směsi pro rozmezí -50 až 180°C najdeme za 3 €/litr. Obvykle se jedná o chemicky ošetřené látky, které se v radiátorech nemají zkazit. V případě zkažení musí dojít k změně celé kapaliny. V tomto případě existuje ještě ekologický problém, jelikož takové směsi se obvykle nemohou ve velkém objemu vypustit do životního prostředí. Dopady na ekologii nemůžeme a nesmíme ignorovat.

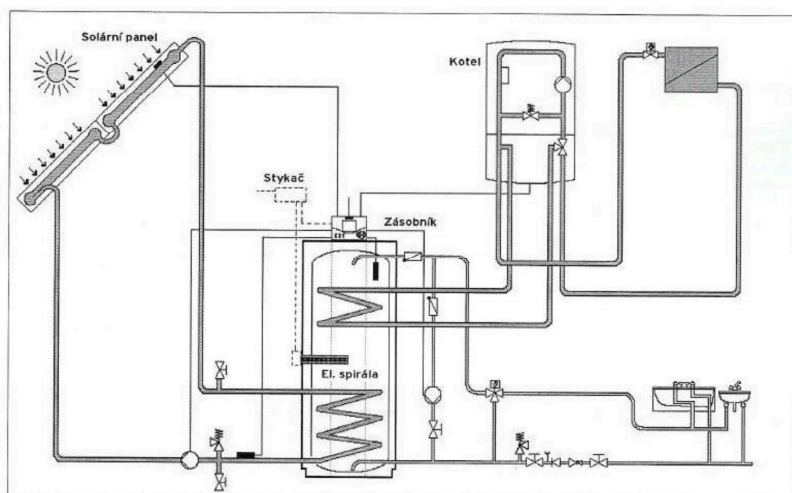
V další kapitole dojde k ocenění celkové soustavy.

4.3.4.3 Celková soustava

Pro celý systém to znamená, že potřebujeme:

- 4 sluneční kolektory AF24UE4 firmy SUNWIN
- 38 m trubky plastové či měďové
- 1 kombinovaný zásobník auroSTOR VIH 500 firmy Vaillant
- 1 čerpadlová skupina 6 l/min firmy Vaillant
- expanzní nádoba 35 l
- filtr
- 2 ventily
- řídicí jednotka auroMATIC 620/3

Celkově se dostaneme k následujícímu schématu (podrobnější i dispoziční schéma jsou dokumentována v příloze C):



Obrázek 16: Schéma propojení slunečního zařízení

Jediný problém, který ještě na schématu zbývá vyřešit, je určení algoritmu, kdy a co má tento systém dělat. Pro naši situaci by například nebylo vhodné, kdybychom čerpadlo nechali v provozu a energie, kterou bychom dostali, by byla menší než nula. To by prakticky znamenalo, že dům chladíme a nosíme teplo ze zásobníku a výměníku ven. První požadavek proto je:

Tabulka 21: Stav čerpadla

	Stav čerpadla
Solární kolektory přidají energii	1
Solární kolektory odeberou energii	0

Systém musí tento vztah průběžně kontrolovat. Například voda v zásobníku se po horké sprše může ochladit, když odebereme horkou vodu (60°C), a vstupuje studená voda (10 °C). v takovém případě je možné, že sluneční kolektory předtím nepřínosné, mohou být najednou přínosné.

Když chceme, aby čerpadlo provedlo svoji práci, musíme nechat otevřít ventily. Když zastavíme koloběh, můžeme ventily zavřít.

Tabulka 22: Stav čerpadla v závislosti na stavech ventilů

Stav čerpadla	Stav ventilu 1	Stav ventilu 2
1	1	1
0	0	0

Dále musí být jasné, že potřebujeme přidat energii pomocí plynu, když nám sluneční kolektory nestačí. To znamená, že čerpadlo pracuje ve stavu 1.

Tabulka 23: Stav ventilu pro vstup vody

Stav čidla 1	Stav čidla 2	Stav ventilu na vstupu vody
0	0	1
0	1	0
1	0	chyba
1	1	0

Tato tabulka říká, že stav plynového kotle můžeme považovat za procyklický s potřebnou energií. To však není zcela pravda. Pravda je, že první opci, kterou máme, je čerpadlo. Pouze pokud čerpadlo nepřinese žádné zlepšení nebo na výkon samo nestačí, budeme připojovat plynový kotel.

Když víme, že potřebuje připojit k systému plynový kotel, musíme mít i pro tuto soustavu daný algoritmus:

Tabulka 24: Stav ventilů v závislosti na stavu plynového kotle

Stav plynového kotle	Stav ventilu 3	Stav ventilu 4
1	1	1
0	0	0

Teď už víme, jak se náš systém bude řídit. Problém je však ještě v tom, jak si systém uvědomí, že ho potřebujeme a jak. My tento systém považujeme za inteligentní a můžeme od něj očekávat, že nám je pomocí. Aby však mohla získat data, potřebuje čidla (sensory), které změří, jaký je stav. Dvě taková čidla potřebujeme v zásobníku, aby nám řekla, jaký je stav (objem vody). Definujeme čidlo 1 pro maximální hodnotu, a čidlo 2 pro minimální hodnotu a můžeme vytvořit další tabulku. Zde je hodnota 1 = „ano, je to na této hodnotě anebo víc“.

Tabulka 24: Stavy pro přidání energie

Více energie potřebné	Stav čerpadla	Stav plynového kotle
0	0	0
0	1	0
1	0	1 (0)
1	1	1

Nutno dodat, že druhý stav by neměl nastat, protože systém by měl být vždy zaplněný vodou. To by měla zaručit expanzní membránová nádoba. Dále musíme určit přes čidlo první vztah, který je uveden v první tabulce: jestli sluneční energie dodaná kolektory by byla dostačující. Potřebujeme opět dvě čidla: jedno čidlo (čidlo 3) u kolektorů, jedno čidlo (čidlo 4) v zásobníku. Zde nastává problém, že hodnoty musí být srovnávány a nelze použít logické 0 či 1. Tento problém závisí na explicitních hodnotách. Tato dvě čidla spojujeme pomocí relace čidlo 3 > čidlo 4, což znamená, že energie, kterou čidlo 3 vypočítává jako přínos z kolektorů, je větší než ta, která je v zásobníku, kde měří čidlo 4. Tuto energii musíme vypočítat tak, aby k tomu vážně došlo. Voda ve slunečním koloběhu se musí zahřát na teplotu větší než je v zásobníku.

Tabulka 26: Stav pro přidání energie ze slunečních kolektorů

Čidlo 3 > Čidlo 4	Sluneční kolektory přidávají energii
0	0
1	1

Tyto základní algoritmy jsou potřebné k řízení této soustavy. Jestliže chceme připojit další zařízení, je-li to možné, musíme opět nastavit algoritmus, který bude brát v úvahu všechny požadavky.

4.3.4.4 Cenový odhad

- 4 sluneční kolektory AF24UE4 firmy SUNWIN
- 38 m trubky plastové či měďové
- 1 kombinovaný zásobník autostop VIH 500 firmy Vaillant
- 1 čerpadlová skupina 6 l/min firmy Vaillant

- expanzní nádoby 35 l
- filtr
- 2 ventily
- řídicí jednotka auroMATIC 620/3

Tabulka 27: Odhad cen pro solární sestavu (předpoklad 1 € = 27,5 Kč)

Položka	Množství	Cena za kus	Cena celková v [Kč]
SUNWIN AF24UE4 ^[15]	4	571,80 €	62898
Plastové trubky	38m		1000
AuroSTOR VIH 500 ^[43]	1	55600 Kč	55600
Vaillant AuroFlow VMS 30 ^[41]	1	904,72 €	24880
Vaillant expanzní nádoba	1	2000 Kč	2000
Filtr	1	200 Kč <small>(Odhad)</small>	200
Ventily	2	1000 <small>[Odhad]</small>	2000
AuroMATIC 620/3 ^[41]	1	13100 Kč	13100
Suma			144377

V další kapitole následuje součet celkových nákladů návrhů.

4.4 Celkové náklady návrhů

Na konci této kapitoly vypočítáme celkové náklady návrhu. Návrh máme tedy následující náklady:

Tabulka 27: Ceny zlepšovacích návrhů a návratnost

Položka	Množství	Cena celková v [kč]	Výnosy za rok v [kč]	Návratnost položky [let]
I. Izolace				
1. Střechy	161,2m ²	48360		
2. Fasády	233,14m ²	234000		
3. Okna	56,78m ²	284000		
Suma		566360	31858	18
II. Kotel				
1. Keramická deska	1	1000	10000	
Suma		1000	10000	0,1
III. Ohřev TUV				
Solární panely	4	144378	6400	
Suma		144378	6400	22,5
Suma celkem		702543		

Tabulka 2 zobrazuje, že se některé investice vyplatí, některé další investice ale ne. Návratnost 0,1 let u položky II. dostaneme z tohoto důvodu, že bereme v úvahu nákup nového kotle (předpoklad ceny: 80000 Kč – tzn. do roku 2022 zbývá ještě 8 let, náklady jsou proto 10000 Kč/rok).

U položek I. a III. je návratnost investice o mnohem větší. Jedná se o dlouhodobý výhled. Není ani známé, jak se situace rodiny dále vyvine. Životnost solárních kolektorů se udává v rámci 15 až 20 let. To znamená, že pro položku tři bude návratnost ve stejném intervalu jak životnost. Proto tuto investici nemůžu doporučit.

Zbývá ještě položka I., která v sobě stejně již zahrnuje ohřev TUV, má návratnost 18-ti let. Je to stejně taková dlouhá doba a zřejmě rodina musí zaplatit úvěrem, což znamená dodatečné náklady na financování a tímto opět větší čas návratnosti. Pokud uvažujeme s úvěrovou sazbou 10%, tak se dostaneme na návratnost kolem 20-ti let. I když dům má tak poměrně velké ztráty, ze se vyplatí tato investice do úspor až za 20 let. Životnost této izolace by však měla být o mnohem větší a proto můžeme uvažovat o této možnosti jako reálné a v případě stabilních podmínek rodiny (finanční, atd.) i doporučitelné.

V další kapitole následuje kritické hodnocení návrhů a doporučení.

5 Kritické ohodnocení návrhů

Jak jsme mohli vidět, je hlavním problémem tohoto domu velice vysoký součinitel prostupu tepla. Hlavně energetická náročnost nám vůbec neumožňuje pomýšlet na solární kolektory pro topení. Existuje však možnost, některé z těchto součinitelů změnit, a to investováním do izolačního materiálu. Bylo by potřeba velké množství izolačního materiálu. Při takovém množství se ale musíme zeptat, jestli je vhodnost z hlediska finančního ještě daná.

Proto jsme vypočítali možnosti izolace v různých etapách. Hlavní položka je izolace střechy, která by mohla pomoci neizolovanou střechu utěsnit. Jak jsme již viděli, získáme tímto nejvíce. V dalším kroku bychom měli uvažovat o izolaci podlahy. Tímto izolujeme obydlené prostory proti chladnému vzduchu. Jelikož můžeme tyto dva kroky časově oddělit (nenavazují přímo na sebe), existuje zde možnost postupného realizování bez velké, jednorázové investiční zátěže. Návratnost investice je však kolem 20-ti let, což je i pro plánování rodinného života dlouhá doba. Proto se musí veškeré investice dobře zvážit. Posuzoval jsem izolaci fasády za doporučitelné za předpokladu stabilního rodinného života, tzn. že veškeré parametry, se kterými jsme počítali, se nezmění.

Co se druhého návrhu týká, je bezpochybně jednoduché rozhodnout za keramickou vložku. Za 1000 Kč materiálové ceny můžeme dosáhnout povolení k prodloužení provozní doby stávajícího kotle. Musí se pouze koupit keramická deska. Nový kotel je příliš drahý a zatím pro tento dům a stávající systém zbytečný.

Dále musíme uvažovat nad tím, že se zatím pálí mokré dřevo (viz. kapitola 2). Pro snížení nákladů (nemá nic společného s energetickou zátěží tohoto domu) je vhodnější toto dřevo v prvním kroku důkladně vysušit (minimálně 2 roky). Až potom ho pálit v kotli za účelem získání tepla. V tomto případě potřebujeme méně dřeva při stejné energetické zátěži.

Třetí dlouhá kapitola, kterou jsme se zabývali, byla možnost implementace solárního okruhu v domě. Na základě vysokých tepelných ztrát však nemá smysl nahradit

celkový systém zatápění solárním okruhem ani pro navrhovaný izolovaný dům. Proto zbývá možnost nahradit zdroj tepla pro potřebu TUV. Místo zemního plynu může být použit solární okruh.

Pro šest lidí v domě jsou potřeba čtyři solární kolektory. Negativem tohoto výpočtu je, že počet těchto kolektorů je pouze průměr kolektorů potřebných za celý rok. To znamená, že zatímco v zimě je potřeba více kolektorů, v létě pak stačí např. pouze 2. Zde musíme přistoupit na určitý kompromis. Nerovnoměrnost odběru a přínosu sluneční energie dorovnáva akumuláční nádoba. Tento okruh a stavební změna jsou poměrně dražší a nedodávají takový užitek jako izolace. Proto tuto změnu volím jako poslední možnou ze tří navrhovaných. Nicméně můžeme počítat s tím, že v budoucnosti porostou ceny energie a v takovém případě je dobré mít nezávislý přístup k energii. Existující dům se nedá srovnávat s novostavbou, ale existují možnosti, jak si život v domě zlepšit. Návratnost investice může být ale poměrně dlouhá, proto je třeba ji zvážit.

Závěrem můžeme říci, že první a druhé opatření se jeví jako nejlepší. Třetí návrh je velice rozsáhlý a má poměrně dlouhou dobu návratnosti. Proto bych tento krok volil jako poslední možnost.

Než tuto kapitolu však uzavřu, musím se ještě zmínit o státní podpoře, pomocí kterých si stát pokusy dát výzvu k investici do vlastního domovu. Takovou podporou je např. Nová zelená úsporám [<http://www.novazelenausporam.cz/>]. Tímto se může výrazně snížit návratnost investice, dle odhadu o 30 až 50%. U kotlů je možné koupit kotle za cenu cca. 60.000 Kč a získat 55.000 Kč dotace. V tomto případě by se mohlo vyplatit i nový kotel s vyšší účinností, ale stávající kotel U26 není dostatečně starý pro dotovanou výměnu. Závěr však zůstává stejný, jelikož návratnost položky I. bude cca. 10 let. Až pak bych doporučil uvažovat o dalším možném úvěru pro položku III.

Následuje závěr celkové diplomové práce.

6 Závěr

Tato diplomová práce měla za cíl navrhnout opatření pro snížení energetické náročnosti rodinného domu ve Vojkovicích, okres Frýdek-Místek. Tento dům má pouhých dvacet dva let. I přesto jsem se pokusil navrhnout úspory pro snížení energetického stavu.

Druhá kapitola uvádí přesná čísla energetických ztrát v současné situaci. Tyto ztráty vznikají na základě větrání a hlavně na základě prostupu tepla. Okna, ale i stěny, mohou pouze omezeně držet energii v domě, aby tímto zabránili energetickým ztrátám. Dům je málo izolovaný s nejnepříznivějšími (i z hlediska designu, např. vnější omítka) materiály. Tato kapitola důkladně vyčíslila energetické ztráty domu.

V třetí kapitole uvádím další aspekty související s energetickou stránkou v tomto domě. Zásadní věcí je povaha topného materiálu. Jelikož je možnost využití dřeva z vlastního lesa, je tento topný materiál sice poměrně levný, ale potřebuje ještě důkladné sušení. Toto se v současné době neprovádí. Výsledkem je, že používáme získanou energii ze spalovacího procesu pro spálení vnitřní vody a vysušení dřeva. Efektivita procesu spálení a získání tepla tímto klesá, a proto doporučuji dřevo dva až tři roky nechat vysušit větrem a sluneční energií.

Ve čtvrté kapitole dojde k vypracování vlastního návrhu pro zlepšení současné situace. Návrh se skládá ze tří pilířů:

- izolace,
- opatření na stávajícím kotli,
- návrh solárního okruhu na ohřev TUV.

Pomocí izolace můžeme výrazně snižovat tepelné ztráty v domě. Energetická náročnost klesá. Dodatečné materiály na střeše, na podlaze a na fasádě výrazně snížili součinitele prostupu tepla a tímto pomáhají udržovat teplo v domě. Dále dojde ještě k výměně všech oken v domě. Místo starých oken se používají moderní, platová okna

trojsklenná. Návratnost této investice je až 18 let, tedy dlouhodobá, ale v případě stálého užívání rodinného domu, doporučuji tento návrh zrealizovat.

Je diskutabilní, zda se vyplatí tyto práce uskutečnit v několika etapách. Je možné nejprve vyměnit okna, pak izolaci anebo naopak. Tímto však nesnížíme náklady na pořízení zařízení. Proto je tento postup sice možný, pro diplomovou práci není ale podstatný.

Dále navrhuji solární systém pro ohřev TUV. Výsledek ukazuje, že klesá energetická náročnost tohoto domu na dobrou třetinu. To sice nestačí, abychom mohli používat solární kolektory pro celý dům, ale alespoň tento dům nepotřebuje tolik dřeva k topení. Dalším kladem tohoto řešení může být zabránění plísně, která se nyní v domě vyskytuje. A není potřeba tolik místa pro uskladnění dřeva. Další izolační materiály by mohly pomoc snížit energetickou náročnost. Tyto investice by se mohly vyplatit a mohly by přispět také ke zdraví.

Dále musíme říct, že solární kolektory nejsou jediným řešením pro tento dům. Problémem je, že se nejedná o nízkoenergetický dům, ale o dům jehož izolace byla zanedbaná. Potenciál šetření energie je proto velký, ale abychom mohli topit pomocí sluneční energie, potřebujeme tak velké investice do izolace, které nejsou rentabilní. Proto možnost topení celého domu sluneční energií nedoporučuji.

Pro tento návrh to znamená, že můžeme solární kolektory pouze používat k ohřevu TUV. Návratnost této investice je 21 let. Jelikož je toto číslo vyšší než předpokládaná životnost zařízení, toto opatření nedoporučuji. Dle současného stavu se tato modifikace nevyplatí.

Pro oba návrhy můžeme však uplatnit dotace od státu. Stát tímto snižuje dobu návratnosti energetických zařízení. Výsledkem je zvýšení investice do domů a do snížení energetické náročnosti. Stát může nakonec hrát rozhodující roli pro majitele budov, zda do takových opatření investovat. Z hlediska ekologie je to podle současné situace nutné.

Návrh číslo dvě stojí pouze 1000 Kč a spočívá v modifikaci stávajícího kotle. Malá keramická deska má výrazně zamezovat odletu částic z kotle do komína. Zamezuje se tímto znečištění vzduchu z tohoto zdroje. Toto opatření bude v dalších letech nutné, protože současným provedením se kotel nesmí provozovat déle než do roku 2022. Tento kotel však nespadá pod dotaci ze státních fondů a pořízení nového kotle je poměrně drahé.

Na závěr práce můžeme říct, že se podařilo navrhnout několik opatření pro energetické úspory v tomto domě. Jelikož se očekává v budoucnosti stále vyšší cena energie a přísnější emisní limity, je toto téma aktuální.

Použitá literatura

- [1] HORÁK, Jirka. Úvod do teorie spalování tuhých paliv. *VÝZKUMNÉ ENERGETICKÉ CENTRUM: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava* [online]. 2011 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/spalovani-tuhych-paliv.pdf>
- [2] HORÁK, Jiří; KRPEC, Kamil; MARTINÍK, Lubomír; MICHNOVÁ, Lenka; HOPAN, František; KUBESA, Petr. Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? *Tzbinfo* [online]. 2012 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>
- [3] KAMINSKÝ, Jaroslav; VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné a alternativní zdroje energie: interní učební texty*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002.
- [4] KORČÁK, Petr. Termoizolace. *PUR IZOLACE s.r.o.* [online]. 2009. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.pur.cz/userfiles/file/F%20Publicistika/STRECHY%20Polyuretanov%C3%A1%20p%C4%9Bna.pdf>
- [5] MRLÍK, František. 2000. Problematika průvzdušnosti a vzduchotěsnosti oken I. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12501-problematika-pruvzdusnosti-a-vzduchotesnosti-oken-i>
- [6] SOBOTKA, Miroslav. 2014. Volba materiálu pro stavbu rodinného domu. *České Vysoké Učení Technické v Praze* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2014/sbornik2014/zdar%20nad%20sazavou_sobotka-volba%20materialu.pdf

- [7] TINTĚRA, Ladislav. Denostupně - teorie k výpočetní pomůcce. *Tzbinfo* [online]. 2005 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2592-denostupne-teorie-k-vypocetni-pomucce>
- [8] BACHL EPS 70 F 200 mm. 2005. *BAUSHOP* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.baushop.cz/bachl-eps-70-f?tloustka=200>
- [9] Berechnung von Stromungsdruckverlusten. *Fachhochschule Koln* [online]. 2011 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.f09.fh-koeln.de/imperia/md/content/institut_tga/fachschaft/grundstudium/stroemungstechnik/2003__05_cousin_ws02_bilderkapitel_05__cousin_.pdf
- [10] Buderus: Projekční podklady výdaje 06/2007. Solární technika Logasol k ohřevu pitné vody a podpoře vytápění. 2007.
- [11] Ceník zateplení fasády rodinného domu. 2013. *Záhorovský: rekonstrukce na klíč* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.zahorovsky.cz/ceny/cena-zatepleni-fasady/>
- [12] *Danfoss Česká Republika* [online]. 2014 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.danfoss.com/Czech_Republic
- [13] Druckverlust Online-Rechner. *Druckverlust* [online]. 2011 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.druckverlust.de/>
- [14] Dvojskla nebo trojskla? Okna a úspory. 2008. *Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/dvojskla-nebo-trojskla-okna-a-uspory.aspx>
- [15] Flachkollektor AF24UE4 / LINUS 24. *Solmaxx: energie mit sinn* [online]. 2013 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z:

http://www.solmaxx.de/artikel,solmaxx_shop,de,seite~3/r1,g2,1210.FK24Q,Flachkollektor-AF24UE4-LINUS-24-

[16] HERCULES U 26 ECO – ekologická verze oblíbeného kotle. *Tzbinfo* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11272-hercules-u-26-eco-ekologicka-verze-oblibeneho-kotle>

[17] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů. *Tzbinfo* [online]. 2001 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnotyfyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich>

[18] Klíčové hodnoty potřeby tepla bytových a rodinných domů a občanských budov. 2004. *Informační portál: Ministerstva průmyslu a obchodu* [online]. Stavebně technický ústav-E a.s. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/4203.pdf>

[19] Klimainformationen für Ostrava. *HolidayCheck.de* [online]. 1999 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.holidaycheck.de/klima-wetter_Ostrava-ebene_oid-id_28557.html

[20] Klimatologické údaje. *Efekt: energie efektivně* [online]. 2006 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/36.pdf>

[21] Minerální vaty 180 mm. 2005. *BAUSHOP* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.baushop.cz/mineralni-vaty?p501%5B1084%5D=180>

[22] NÁVOD K OBSLUZE A INSTALACI KOTLE. *SITTEK s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.sittek.cz/pdf/u26-manual.pdf>

[23] Projektierungshilfe für Stromaggregate. *Rohrbogen* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.schweizer-fn.de/berechnung/zeta/v2_rohrbogen_rech.htm

[24] OptimiSol: Manuál k programu. *Vysoká Škola Baňska - Technická Univerzita Ostrava* [online]. 2009 [cit. 2015-03-08]. Dostupné z: <http://www1.vsb.cz/ke/czech/Optimisol/Manual.pdf>

[25] Ostrava/Ostrau. *Klimadiagramme weltweit* [online]. 2011 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.klimadiagramme.de/Europa/ostrava.html>

[26] Plastová okna. *OKNO STYL* [online]. 2008 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.oknostyl.cz/plastova-okna/?gclid=CMDy2syNrrwCFQsCwwodsjs8AiA>

[27] Polystyren EPS 70 F Fasádní. *Tepelné IZOLACE* [online]. 2006 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/polystyren-eps-70-f-fasadni.html>

[28] Projekční podklady a pomůcky - Tepelná bilance objektu - denostupňová metoda. *České Vysoké Učení Technické v Praze* [online]. 2012 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>

[29] Solarkollektoren. *Solaranlage.eu* [online]. 2012 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.solaranlage.eu/solarkollektor>

[30] Solární elektrárny. 2013. *Vítejte na Zemi...: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=solarni_elektrarny

[31] Součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří dle ČSN 73 0540. *Stavba - tzbinfo* [online]. 2001 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/32-soucinitel-prostupu-tepla-a-soucinitel-sparove-pruvzdusnosti-oken-a-dveri-dle-csn-73-0540>

[32] Technický informační list: Tepelný výměník s těsněním XG. *Danfoss Česká Republika* [online]. 2014 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z:

http://cz.danfoss.com/PCMPDF/VDKAF548_XG-1003.pdf

[33] Tepelné izolace. *Učebnice matematiky a fyziky pro gymnázia* [online]. 2009 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z:

http://www.ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/2_Molekulova_fyzika_a_termika/2_Vnitri_energie_prace_teplo/2205_Tepelne_izolace.pdf

[34] Tepelné izolace: Polystyren, minerální vata a další. *Nalezeno.cz* [online]. 2008 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/tepelne-izolace-polystyren-mineralnivata-a-dalsi.aspx>

[35] Tipy nazeleno – ušetřete s námi tisíce korun!. *Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého* [online]. 2008 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace-2/tepelne-izolace-polystyrenmineralni-vata-a-dalsi.aspx>

[36] TNI 73 0329: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění. 2009. *Česká komora architektů* [online]. ÚNMZ [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://staryweb.cka.cz/prilohy/TNI_73_0329

[37] Transmissionswärmebedarf. *Der Weg zum Haus* [online]. 2011 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.derwegzumhaus.de/?Energieberatung:Heizlast_%2B_U_-_Wert:Transmissionsw%E4rmebedarf

[38] TZB-2002: Součinitel prostupu tepla (výpis z revidované ČSN 73 0540-2:2002). *Tzbinfo* [online]. 2001 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1223-tzb-2002-soucinitel-prostupu-tepla-vypis-z-revidovane-csn-73-0540-2-2002>

[39] *Vaillant Česká Republika* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: www.vaillant.cz

- [41] Vaillant auroMATIC 620 / 2 Solar Systemregler Regelung. *Sanitär Jahnke UG: Heizung-Sanität-Planung* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.hsp-jahnke.de/Produktdetail/Vaillant-auroMATIC-620---2-Solar-Systemregler-Regelung.html>
- [41] Vaillant Solarstation auroFLOW VMS 30. *Loebbeshop.de* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.loebbeshop.de/vaillant/regenerative-nbsp-heizsysteme/solartechnik/solar-zubehoer/solarstation-auroflow-vms-30.htm>
- [42] Využití sluneční energie - energie slunce. *Www.Ekodum.CZ* [online]. 2005 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.ekodum.cz/energy/sun/info.php>
- [43] Zásobník Vaillant Solar bivalentní AUROSTOR VIH S500 NEPŘÍMOTOPNÝ. 2000. *RICHTER+FRENZEL* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://eshop.r-f.cz/cenik/topeni/solarni-technika/prislusenstvi/269729-zasobnik-vaillant-solar-bivalentni-aurostor-vih-s500-neprimotopny>
- [44] Zateplení fasády cena za m2. 2011. *ZOFI FASÁDY* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.zatepleni-fasad.eu/vse-o-zatepleni/zatepleni-fasady-cena-za->
- [45] TWINSOLAR Compact: Technické údaje. 2011. *ECO ENERGO* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.eco-energo.eu/repository/downloads/grammer/twinsolarcom-cz.pdf>
- [46] Montageanleitung Indachkollektoren WK2. 2015. *WP-Energie: Fachgroßhandel* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.wp-energie.at/fileadmin/produkte/solar/pdf/Montage_Indachkollektor.pdf
- [47] Indachmodulkollektor WK2. *Solarenergietechnik* [online]. 2012 [cit. 2012-03-08]. Dostupné z: http://www.solarschmidt.de/download/WK2_Technische_Systembeschreibung.pdf

Příloha A

Tabulka A-1: Obrázek 19 s ohledem na topné období

0°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	12,974	23,016	45,849	74,703	122,097	123,660
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	626,50	348,31	172,49	105,87	1,38	1,37
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	762,19	411,99	186,39	117,29	1,49	1,48
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	1020,96	470,87	213,71	125,99	1,33	1,30
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	142,879	114,747	63,597	32,377	8,835	6,082
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,18	1,47	2,66	244,26	920,00	1374,61
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	1,26	1,57	2,98	274,10	1044,64	1896,87
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	1,35	1,71	3,12	302,63	1587,44	4055,37

Tabulka A-2: Vypočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 30^\circ$ s teplem

30°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	24,775	37,632	59,892	88,578	139,289	134,730
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	328,08	213,03	132,05	89,28	56,78	58,70
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	399,14	251,97	142,69	98,92	61,35	63,43
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	534,65	287,99	163,60	106,25	66,69	68,06
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	162,998	136,059	83,076	52,774	16,872	13,113
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	48,52	58,13	95,20	149,86	481,75	637,56

η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	51,79	62,04	106,82	168,16	547,02	879,79
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	55,55	67,40	111,82	185,67	831,26	1880,94

Tabulka A-3: Obrázek 21 s ohledem na topné období

30°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	24,775	37,632	59,892	88,578	139,289	134,730
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	328,08	213,03	132,05	89,28	1,21	1,25
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	399,14	251,97	142,69	98,92	1,31	1,35
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	534,65	287,99	163,60	106,25	1,17	1,19
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	162,998	136,059	83,076	52,774	16,872	13,113
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,04	1,24	2,03	149,86	481,75	637,56
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	1,11	1,33	2,28	168,16	547,02	879,79
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	1,19	1,44	2,39	185,67	831,26	1880,94

Tabulka A-4: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 60^\circ$ s teplem

60°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	31,053	44,184	59,892	82,251	117,434	114,480
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	261,75	181,44	132,05	96,15	67,34	69,08
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	318,44	214,61	142,69	106,53	72,77	74,65
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	426,56	245,28	163,60	114,42	79,10	80,10
	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Q_{SD}	137,423	126,341	83,076	61,963	21,147	16,740
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	57,55	62,60	95,20	127,63	384,36	499,43
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	61,43	66,82	106,82	143,22	436,44	689,17
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	65,89	72,58	111,82	158,13	663,22	1473,40

Tabulka A-5: Vypočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 90^\circ$ s teplem

90°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	33,145	42,000	51,708	57,609	65,419	58,185
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	245,23	190,88	152,94	137,28	2,58	2,90
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	298,34	225,77	165,27	152,10	2,79	3,14
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	399,63	258,04	189,49	163,37	2,48	2,75
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	76,555	88,490	71,724	58,900	22,572	17,354
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	2,21	1,91	2,36	134,27	360,10	481,76
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	2,36	2,04	2,64	150,67	408,89	664,79
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	2,53	2,21	2,77	166,36	621,35	1421,27

Tabulka A-6: Obrázek 25 s ohledem na topné období

90°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	33,145	42,000	51,708	57,609	65,419	58,185
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	245,23	190,88	152,94	137,28	120,89	135,92
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	298,34	225,77	165,27	152,10	130,63	146,87
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	399,63	258,04	189,49	163,37	142,00	157,60
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	76,555	88,490	71,724	58,900	22,572	17,354
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	103,30	89,37	110,26	134,27	360,10	481,76
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%
Č. (kol. 2)	110,27	95,40	123,73	150,67	408,89	664,79
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol. 3)	118,27	103,63	129,51	166,36	621,35	1421,27

Tabulka A-7: Výpočet účinnosti a čísla kolektorů pro $\alpha = 60^\circ$

60°	I	II	III	IV	V	VI
Q_{SD}	31,053	44,184	59,892	82,251	117,434	114,480
ΔT	22,4	20,7	16,8	11,8	6,8	3,6
	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
η	72%	73%	74%	74%	74%	74%
Č. (kol. 1)	261,75	181,44	132,05	96,15	1,44	1,48
η	70%	73%	81%	79%	81%	81%
Č. (kol. 2)	318,44	214,61	142,69	106,53	1,55	1,59
η	54%	66%	73%	76%	77%	78%
Č. (kol. 3)	426,56	245,28	163,60	114,42	1,38	1,40
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{SD}	137,423	126,341	83,076	61,963	21,147	16,740
ΔT	2,2	2,8	6,4	11,1	16,3	20,4
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
η	74%	74%	74%	74%	72%	70%
Č. (kol. 1)	1,23	1,34	2,03	127,63	384,36	499,43
η	82%	82%	78%	78%	75%	60%

Č. (kol. 2)	1,31	1,43	2,28	143,22	436,44	689,17
η	79%	78%	77%	73%	51%	29%
Č. (kol 3)	1,41	1,55	2,39	158,13	663,22	1473,40