

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití solární energie pro vytápění budov

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš WARNICKI**
Osobní číslo: **E13B0162P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Využití solární energie pro vytápění budov**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte obecné principy získávání energie ze sluneční záření
2. Proveďte průzkum trhu ohledně zařízení na vytápění budov pomocí solárního záření
3. Pro vzorový objekt navrhnete vhodné zařízení pro využití solárního záření pro přitápění a pro ohřev TUV
4. Zvolený návrh zhodnoťte z hlediska energetického i ekonomického

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Viktor Majer, Ph.D.


Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návržení solárního zařízení pro přitápění a pro ohřev užitkové vody v rodinném domě. V první části je popsáno samotné solární záření, jeho vznik a dopad na Zemi. Druhá část popisuje technologie využívající solárního záření. Ve třetí části je uvedeno několik firem, dostupných na českém trhu, které nabízejí tyto solární technologie. Ve čtvrté části je popsán vybraný objekt, jeho tepelná ztráta a potřeby tepla. V páté části je uvedeno dostupné dopadající záření v dané lokalitě. Další, šestá část, již řeší samotný návrh solárního zařízení. Poslední dvě části pak zhodnocují navržené solární zařízení z energetického a ekonomického hlediska.

Klíčová slova

Solární záření, solární technologie, kolektor, tepelná ztráta budovy, potřeba tepla, účinnost, solární sestavy, návratnost

Abstract

This bachelor thesis is focused on design of solar equipment for water heating and building warming. In the first part of this thesis a solar equipment is described. Second part shows description technology using solar beaming. In third part, I am showing a few companies, which are available on czech market, which are purchasing this solar technologies. In fourth part I got focused on selected object and on its thermal losses and thermal needs. Fifth part presents available beaming in specific area. Next part, sixth, is about solution on solar equipment design. Last two chapters are evaluating designed solar equipment in view of energetically and economical.

Key words

Solar radiation, solar technology, collector, building heat loss, heat gain, efficiency, solar sets, investments return

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 2.6.2015

Lukáš Warnicki

Poděkování

Na tomto místě bych rád vyjádřil své díky vedoucímu bakalářské práce Ing. Viktoru Majerovi, Ph.D. za odborné rady, připomínky a ochotný přístup při psaní této práce.

Zvláštní poděkování patří mým blízkým a především mé rodině, která mne po celou dobu studia trpělivě podporovala ve všech směrech.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	12
1 SOLÁRNÍ ENERGIE	13
2 SOLÁRNÍ TECHNOLOGIE	16
2.1 PASIVNÍ SOLÁRNÍ TECHNOLOGIE PRO VYTÁPĚNÍ	16
2.1.1 <i>Sluneční okno</i>	16
2.1.2 <i>Sluneční akumulární stěna</i>	16
2.1.3 <i>Sluneční skleník</i>	17
2.2 FOTOVOLTAICKÉ SOLÁRNÍ TECHNOLOGIE	17
2.2.1 <i>Konstrukce článku</i>	17
2.2.2 <i>Princip funkce</i>	17
2.2.3 <i>Aplikace fotovoltaiky pro ohřev vody a vytápění</i>	18
2.3 FOTOTERMICKÉ SOLÁRNÍ TECHNOLOGIE	18
2.3.1 <i>Typy kolektorů</i>	18
2.3.2 <i>Účinnost kolektorů</i>	21
2.3.3 <i>Předávání tepla</i>	21
2.3.4 <i>Další prvky solárních systémů</i>	23
2.3.5 <i>Provedení solárních soustav</i>	24
2.3.6 <i>Typy proudění kapaliny v kolektoru</i>	26
3 SOLÁRNÍ TERMICKÉ SYSTÉMY NABÍZENÉ NA TRHU	27
4 POPIS VYBRANÉHO RODINNÉHO DOMU	30
4.1 TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY	30
4.1.1 <i>Postup provedeního výpočtu tepelných ztrát budovy</i>	30
4.2 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ	34
4.3 VÝPOČET SPOTŘEBY TEPLA NA OHŘEV TUV	35
5 DOSTUPNOST DOPADAJÍCÍ ENERGIE	37
5.1 HODNOTY ENERGIE UVÁDĚNÉ APLIKACÍ PVGIS	37
5.2 VÝPOČET ENERGIE	38
5.3 POROVNÁNÍ HODNOT	43
6 NÁVRH ZAŘÍZENÍ	44
6.1 VÝBĚR ZÁSOBNÍKU TEPLA	44
6.2 VÝBĚR KOLEKTORU	45
6.3 SPECIFIKACE SESTAV	48
7 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ	50
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	52
8.1 NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM 2015	52
8.2 NÁVRATNOST SOLÁRNÍCH SESTAV	52
ZÁVĚR	56
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58

PŘÍLOHY	1
PŘÍLOHA A – PŮDORYS PRVNÍHO NADZEMNÍHO PODLAŽÍ RODINNÉHO DOMU.....	1
PŘÍLOHA B - PŮDORYS DRUHÉHO NADZEMNÍHO PODLAŽÍ RODINNÉHO DOMU	2
PŘÍLOHA C - ŘEZ RODINNÝM DOMEM.....	3
PŘÍLOHA D - VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY OBÝVACÍHO POKOJE.....	4

Seznam symbolů a zkratk

a.....	Azimut slunce (-)
a_1	Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
a_2	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-2}$)
A_c	Celková plocha apertury solárních kolektorů (m^2)
A_o	Optimální plocha kolektoru (m^2)
a_s	Azimut osluněné plochy (-)
B.....	Charakteristické číslo budovy ($\text{Pa}^{0,67}$)
c.....	Měrná tepelná kapacita vody (J/kgK)
C_e	Stávající cena energie (Kč/kWh)
E.....	Získaná využitelná energie (kWh/rok)
ε	Součinitel, závislost výšky slunce a nadmořské výšky (-)
ε_o	Opravný součinitel (-)
h	Výška slunce nad obzorem (-)
H.....	Nadmořská výška (m)
I_0	Sluneční konstanta (Wm^{-2})
I_D	Intenzita difúzního slunečního záření (Wm^{-2})
I_{Dh}	Intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu (Wm^{-2})
i_{LV}	Součinitel spárové provzdušnosti ($\text{m}^3\text{s}^{-1}/\text{mPa}^{0,67}$)
I_p	Intenzita přímého slunečního záření (Wm^{-2})
I_{ph}	Intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu (Wm^{-2})
I_{pn}	Intenzita přímého záření (Wm^{-2})
$I_{stř}$	Střední intenzita slunečního záření (Wm^{-2})
k	Součinitel prostupu tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
k_C	Průměrný součinitel prostupu tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
L.....	Délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří (m)
M.....	Charakteristické číslo místnosti (-)
n	Počet dnů v měsíci (-)
N.....	Investiční náklady (Kč)
n_h	Intenzita výměny vzduchu (h^{-1})
N_p	Provozní náklady (Kč)
p_1	Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí (-)

p_p	Předpokládaná tlaková ztráta potrubí (-)
Q_c	Celková tepelná ztráta objektu (W)
Q_{Dden}	Energie difúzního záření (Whm^{-2})
Q_k	Využitelný měsíční tepelný zisk solárního kolektoru (Whm^{-2})
Q_m	Celková tepelná ztráta místnosti (W)
Q_o	Základní tepelná ztráta prostupem tepla (W)
Q_p	Tepelná ztráta místnosti prostupem tepla (W)
Q_{Sden}	Skutečné množství energie (Whm^{-2})
$Q_{Sdenteor}$	Teoretické množství energie (Whm^{-2})
Q_{Smes}	Měsíční sluneční ozáření (Whm^{-2})
Q_{TUV}	Spotřeba tepla na ohřev vody (Wh)
Q_v	Tepelná ztráta prostoru větráním (W)
Q_{vyt}	Spotřeba tepla na vytápění (Wh)
Q_{zas}	Energie nutná k ohřevu zásobníku (Wh)
r	Reflexní schopnost okolních ploch (-)
S	Plocha ochlazovaných částí konstrukce (m^2)
t_1	Teplota studené vody ($^{\circ}C$)
t_2	Teplota ohřáté vody ($^{\circ}C$)
t_{ei}	Výpočtová vnější teplota ($^{\circ}C$)
t_{es}	Průměrná měsíční venkovní teplota ($^{\circ}C$)
t_{ev}	Výpočtová venkovní teplota ($^{\circ}C$)
t_i	Výpočtová vnitřní teplota ($^{\circ}C$)
t_{ip}	Průměrná vnitřní teplota ($^{\circ}C$)
t_m	Průměrná teplota teplonosné kapaliny v solárních kolektorech ($^{\circ}C$)
T_N	Prostá doba návratnosti (roky)
$T_{\dot{z}}$	Doba životnosti (roky)
V_m	Vnitřní objem prostoru (m^3)
V_p	Potřeba vody (m^3/den)
V_v	Objemový tok větracího vzduchu (m^3s^{-1})
V_{vH}	Potřebný objemový tok (m^3s^{-1})
V_{vP}	Objemový tok infiltrací (m^3s^{-1})
z_s	Koeficient energetických ztrát systému (-)
Z	Součinitel znečištění atmosféry (-)
α	Úhel plochy od vodorovné roviny ($^{\circ}$)

η_0	Účinnost při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím (-)
η_k	Účinnost kolektoru (-)
ρ	Měrná hmotnost vody (kg/m^3)
τ	Časový úhel ($^\circ$)
τ_p	Poměrná doba slunečního svitu (-)
τ_{teor}	Teoretická doba slunečního svitu (h)
φ	Zeměpisná šířka ($^\circ$)
γ	Úhel dopadu paprsků ($^\circ$)
TUV	Teplá užitková voda
NZÚ	Nová zelená úsporám

Úvod

Využívání sluneční energie k ohřevu vody není žádnou novou myšlenkou. K ohřevu se Slunce užívá již více než tisíc let. V poslední době však zažívají tyto technologie velkého rozmachu. Lidé se čím dál tím více začínají zajímat o životní prostředí, ve kterém žijí. Kromě klasických zdrojů energie začínají proto více využívat alternativní zdroje, jako je zmiňovaná sluneční energie. Další výhodou navíc je, že z pohledu lidského života je Slunce nevyčerpatelným zdrojem energie.

Technologie, kterými lze přeměnit, nebo využít sluneční záření, je mnoho. V základu se dělí na pasivní a aktivní technologie. Ta nejjednodušší, kdy se ohřívá voda v obyčejném černém sudu, až po ty nejsložitější, kde ve fotovoltaických článcích se přeměňuje záření na elektrickou energii, která se pak dá dále využívat. V práci je brán největší zřetel na technologie fototermické. V první třetině práce jsou však zmíněny i ostatní možnosti pro řešení ohřevu vody, nebo vytápění v rodinných domcích. Každá z technologií má své výhody, ale i zároveň mnoho nevýhod. Fotovoltaické technologie v poslední době začaly zlevňovat, a to i přes navyšování jejich výkonu, avšak je u nich stále velký problém s nízkou účinností a pozdější nutností se panelů nějakým náležitým způsobem zbavit. Často se také hovoří o velké náročnosti provedení fototermických technologií a o jejich velkých pořizovacích nákladech.

V této předkládané práci se zaměřuji na optimální navrzení solárních termických systémů pro vybraný rodinný dům a následovnému zhodnocení, zda je tato technologie pro onen dům vhodná a má možnost být také rentabilní při jeho provozu.

1 Solární energie

Slunce, koule žhavé plazmy o průměru 109krát větším než je průměr Země. Je zdrojem energie a zároveň zdrojem všeho života. Slunce dodává energii i mnohým dalším zemským pochodům, z kterých opětovně získáváme energii, jak ve formě větru, proudící vody a v podstatě také z fosilních paliv. Fosilní paliva jsou jakýmsi zásobníkem sluneční energie.

Solární energie je vytvářena termonukleárními reakcemi probíhajícími v jádru Slunce, kde se atomy vodíku přeměňují v hélium. Energie pro tuto přeměnu se vytváří jeho velkou gravitací, při které stlačuje svou hmotnost do svého středu. Solární energie je poté doprovázena ve formě elektromagnetického záření dopadajícího na zem. Z povrchu Slunce na Zem to trvá zhruba 8 minut. Zajímavostí ale je, že než se dostane ze středu Slunce, to může trvat stovky tisíc let.

Slunce je definováno jako dokonale černé těleso s teplotou na povrchu přibližně 6000 K. Jakožto takové Slunce vyzařuje v širokém rozsahu vlnových délek. Planckův zákon určuje spektrální průběh hustoty zářivého toku v závislosti na vlnové délce. Reálná charakteristika zářivého toku se oproti idealizovaným předpokladům liší. [1] Pro nás je nejvýznamnější takzvané viditelné záření, jenž je v rozsahu 400 až 650 nm. V této oblasti rozlišujeme barevné podání, každá barva má svou vlnovou délku a ostatní vlnové délky pak již normálním zrakem nejsou viditelné. Také v této oblasti dopadá na Zemi velké množství energie. Energeticky významnou částí spektra je pak oblast infračerveného záření, které tvoří polovinu energie slunečního záření. [2]

Výkon slunečního záření dopadajícího svisle na atmosférický obal, zhruba 60 km nad zemským povrchem, je stanoven na 1360 Wm^{-2} . To je takzvaná sluneční konstanta. Jinak je to ovšem s dostupností energie na povrchu Země. Záleží na atmosférických podmínkách, na znečištění atmosféry, zeměpisné šířce, roční době a v neposlední řadě na sklonu a orientaci plochy, na niž sluneční záření dopadá. [2]

Průchodem atmosférou je část záření odrazena a část pohlcena. Atmosféra se skládá především z dusíku a kyslíku. Ve vysokých vrstvách je pohlcena ultrafialová a rentgenová složka záření, ale tím nás vlastně atmosféra chrání. Na zemský povrch se dostává pak jen

malá část tohoto záření. Velký vliv pak mají také mraky, ve kterých dochází k pohlcování nebo k odrazu různých vlnových délek záření. Pokud není žádná oblačnost, tak na zemský povrch dopadá zhruba 75 % celkového záření. Naopak při špatných podmínkách je ona hodnota maximálně do 15 %. Také znečištění atmosféry hraje velkou roli a je nutné s ním počítat. [3]

Jak bylo zmíněno výše, průchodem atmosférou se záření rozptyluje a takové záření pak nazýváme zářením difúzním (výpočet 5.7) a je první složkou z celkového slunečního ozáření. Difúzní záření dopadá na zem i přes zataženou oblohu, přichází ze všech směrů se stejnou intenzitou a může být stejně velké jak za zatažené oblohy, tak i za slunečného počasí. Je tedy počasím málo ovlivněno.

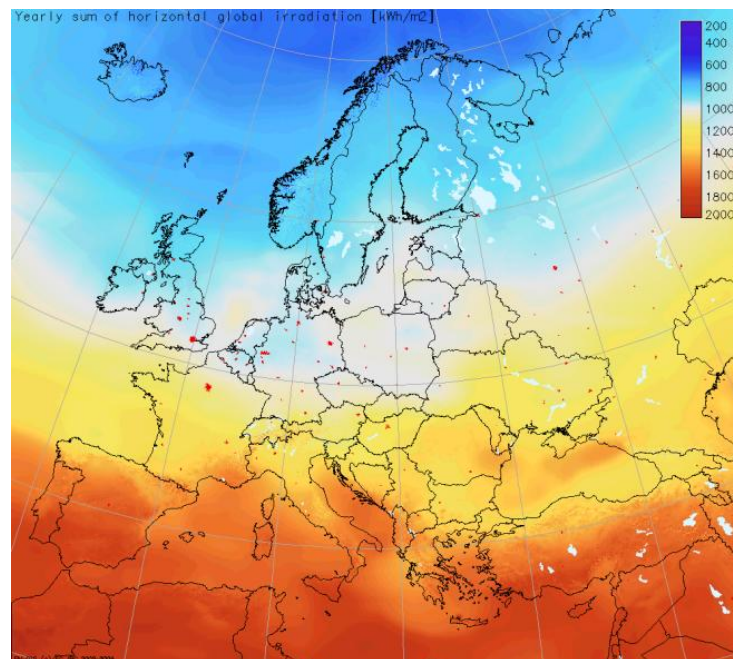
Druhou složkou celkového slunečního ozáření je záření přímé. Toto záření není při průchodu atmosférou rozptýleno. Má směrový charakter a je tedy závislé na úhlu dopadu. Doby využití přímého záření jsou krátké, ale s vysokou intenzitou. Během léta přímé záření výrazně převyšuje difúzní, v zimě jsou ale pak záření poměrově stejně velké. Hodnoty celkového slunečního ozáření pro různé typy oblačnosti jsou uvedeny v Tab. 1.1.

Tab. 1.1 Celkové ozáření dle typu podnebí [1]

Stav	(Wm^{-2})
Jasná obloha	700-1000
Lehce zataženo	200-700
Silně zataženo	100-200

Během roční doby se mění pohyb slunce po obloze. V létě jsou dny dlouhé a slunce je na obloze vysoko. Naopak v zimě jsou dny podstatně kratší a slunce je na obloze nízko. Výška slunce je přímo závislá na daném místě, pro Českou republiku je to 50° severní šířky. [3] Výpočtem výšky Slunce nad obzorem se zabývám v pozdější části této práce, při navrhování solárního systému.

Dalším pojmem je dávka slunečního ozáření v této práci používám označení písmenem „Q“, ale často se dá setkat s označením písmenem „H“. Hodnota „Q“, udává hustotu dopadající energie za časový úsek. Názorné porovnání roční dávky globálního slunečního ozáření na vodorovnou plochu v Evropě je zobrazeno na obrázku Obr. 1.1. Z obrázku je patrné, že mezi nejvhodnější oblasti v Evropě pro solární technologie patří Španělsko a všeobecně jih kontinentu.



Obr. 1.1 Mapa ročních úhrnů ozáření dopadající na Evropu [4]

Z hlediska dostupnosti slunečního ozáření se užívají hodnoty naměřené a zprůměrované za určité období. Nedostatek při přesném projektování je, že tyto stanice nemusí vždy být v dané lokalitě přítomné a používané údaje nejbližší stanice pak nejsou tak přesné. Pro měření se dají použít pyranometry s termočláňkovými čidly. Segmentový pyranometr a terčíkový pyranometr jsou nejběžnější. [2]

Maximální výkon ze solárního zařízení získáme na ploše, která je kolmá k dopadajícím paprskům. Nejběžnější sklon vhodný pro tento účel bývá udáván 45° směrem k jihu. Pokud bychom ale chtěli maximalizovat zisky je vhodné, aby sklon nebyl konstantní, ale měnil se během roku. Pokud se předpokládá systém používaný především v zimě, je vhodné ho umístit pod sklonem 60° . V létě vyhovuje sklon 30° .

2 Solární technologie

Ve své práci se zabývám návrhem fototermického řešení ohřevu vody a přitápění. Tento typ technologie, také v této kapitole, představuji více do hloubky. Nejdříve představuji možné alternativy, které by se také daly použít k řešení dané problematiky.

2.1 Pasivní solární technologie pro vytápění

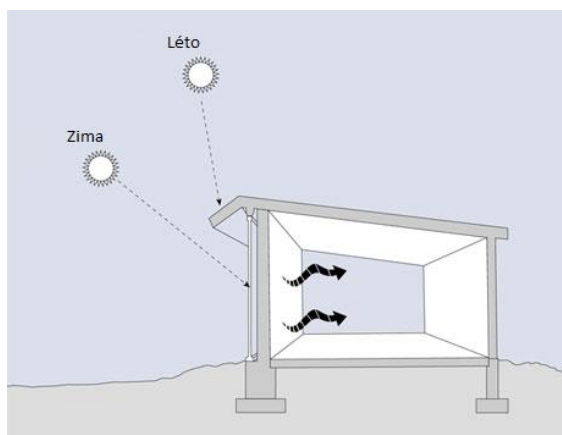
Pro tuto technologii jsou budovy navrhovány, nebo modifikovány. Používá se pro vytápění. Budovy nezávislé zachycují, zpracovávají a distribuují teplo získané sluncem bez použití elektrických, nebo mechanických zařízení. Tento systém je typický pro své nízké nároky na údržbu a délkou životnosti samotné stavby. Konstrukce budovy nemusí být nějak zvlášť složitá, ale musí se při jejím návrhu uvažovat nad takzvanou solární geometrií. Tedy nad pohybem slunce po obloze během ročních období. Dále je v rámci konstrukce budovy nutné zvolit technologicky správná okna. To vše s ohledem na lokální klimatické podmínky. [5]

2.1.1 Sluneční okno

Tato pasivní technologie je typická velkými okny s rovinným uspořádáním. Při této konstrukci sluneční záření přímo proniká a je ukládáno ve vlastní konstrukci budovy. Ukládá se v materiálech jako je beton, podlahové kamenné desky, nebo v příčkách. Materiály jsou konstruovány tak, aby tepelnou energii zadržovaly a následovně pozvolně uvolňovaly. [5]

2.1.2 Sluneční akumulční stěna

Teplo ze slunečního záření vstupuje do budovy skrze velké okno, zadržuje se ve vzduchové mezeře a ukládá se v teplotně odolném materiálu s tmavým povrchem. Takovým tepelným zásobníkem může být vodní nádrž, střešní rybníček anebo Trombeho zeď (Obr. 2.1). Trombeho zeď je technologie, kde prosklený tepelný kolektor shromažďuje a zadržuje sluneční záření během dne. Během noci se poté teplo uvolňuje do budovy prouděním a vedením. Pro rychlejší převod tepla se můžou do stěny zabudovat nastavitelné větrací otvory. Systém je tvořen z tmavé zdi, tepelně absorpčního materiálu a z jednoho nebo dvou vrstvého skla vzdáleného od zdi 2 až 15 cm. V noci je možné zamezit ztrátám tepla použitím tepelného krytu. [5]



Obr. 2.1 Trombeho zed' [5]

2.1.3 Sluneční skleník

Prosklená nevytápěná místnost, sluneční skleník anebo zimní zahrada přidána na jižní stranu budovy. Sluneční záření vždy vytváří ve skleníku vyšší teplotu, než je teplota okolního vzduchu. Snižuje tepelné ztráty domu a ohřívá vzduch procházející prostorem. Pokud teplota v prostoru vzroste a je vyšší než v domě, je možné nashromážděné teplo vpustit dveřmi, nebo okny, které jsou přilehlé ke skleníku. [5]

2.2 Fotovoltaické solární technologie

2.2.1 Konstrukce článku

Fotovoltaický článek je tvořen dvěma vrstvami. Článek je v podstatě velkou polovodičovou diodou, kde přední strana typu N je záporně dotována fosforem a spodní vrstva typu P je kladně dotována bórem. Na obou stranách článku jsou umístěny elektrody. Na straně vystavěné slunečnímu záření je elektroda tvořena tenkou mřížkou tak, aby došlo k co nejlepšímu pohlcení záření plochou článku. Zatímco u zadní strany je použita celoplošná elektroda. Výjimkou je pak oboustranný fotovoltaický článek, který má zadní stranu transparentní. Antireflexní vrstvou, umístěnou na povrchu článku, minimalizujeme odraz fotonů. Zároveň tato vrstva dává článkům jejich typickou černou nebo modrou barvu. [6]

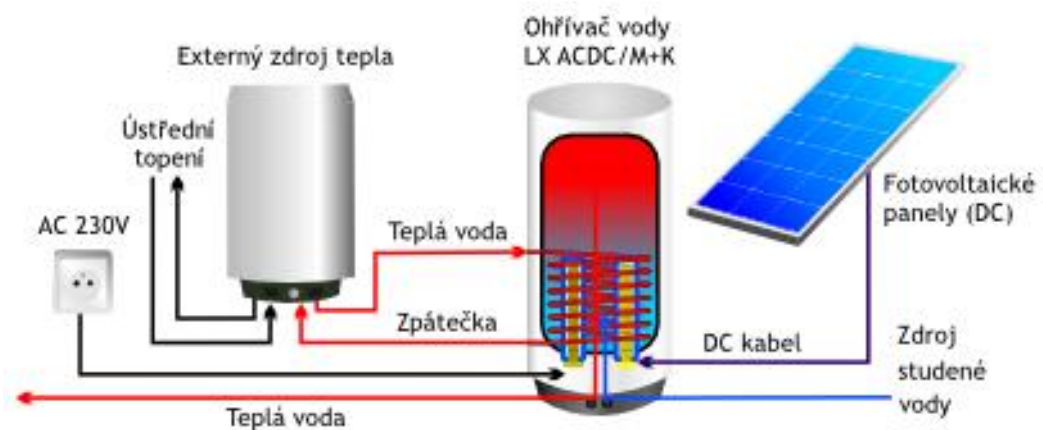
2.2.2 Princip funkce

Ve fotovoltaickém článku probíhá přímá přeměna záření na elektrickou energii. Dopadem záření, přesněji fotonů s větší energií, než která odpovídá šířce zakázaného pásu v solárním článku, dochází k uvolňování elektronů z jejich vazeb v atomové mřížce. Fotony předají svou energii a pohltnou se. V důsledku opačné polarizace přední a zadní strany článku vzniká mezi nimi

rozdíl potenciálu a při uzavření elektrického obvodu začne protékat stejnosměrný elektrický proud. [6,7]

2.2.3 Aplikace fotovoltaiky pro ohřev vody a vytápění

V dnešní době již cena fotovoltaických panelů umožňuje jejich využití k ohřevu vody. K přeměně na teplo se používá akumulční ohřívač vody. K ohřevu je tedy použita energie vytvořená fotovoltaickým panelem. Při nepříznivém počasí lze na ohřátí vody využít elektřinu přímo ze sítě anebo lze oba systémy různě kombinovat. V případě použití fotovoltaické technologie s plynovým kotlem se ohřívač vody zařazuje mezi zdroj studené vody a plynový kotel. Teplá voda ohřátá fotovoltaickým panelem proudí do zásobníku vody v plynovém kotli, čímž nedochází k dalšímu ohřevu vody. [8,9]



Obr. 2.2 Možné využití fotovoltaiky pro ohřev vody a vytápění [9]

2.3 Fototermické solární technologie

2.3.1 Typy kolektorů

Kolektory se dělí na pasivní a aktivní, podle toho jak v daném systému je prováděn přenos tepla. Pasivní nevyužívají žádné dodatkové technologie. Aktivní využívají čerpadel a dalších technologií. K využití k ohřevu vody a vytápění jsou určeny právě aktivní typy kolektorových systémů. Další rozdělení kolektorů je na kapalinové a vzduchové, podle použitého média pro přenos.

- **Plastové kolektory**

Tento jednoduchý typ kolektoru nevyužívá žádného zakrytí absorbéru. Tím se zvyšuje intenzita dopadajícího záření, ale zároveň se zvyšují jeho tepelné ztráty. Další nevýhodou je velmi špatná odolnost. Plastové kolektory jsou levné, nekorodují a pro jejich jednoduchost se hodí pro ohřev vody v bazénech. Požadavek na teplotu ohřevu zde není tak vysoký, většinou vystačuje teplo jen o pár stupňů vyšší, než je teplota okolí. Tímto provedením jsou kolektory určeny jen pro sezónní ohřev. [10]

- **Ploché kolektory**

Oproti plastovému kolektoru je tento typ daleko sofistikovanější. Většinou se vyrábí se zasklením a s plochým kovovým absorbérem. Kolektory jsou v provedení se selektivním absorbérem, nebo s neselektivním povrchem absorbéru. Rozdíl je, že selektivní povrch pohlcuje velké množství solárního záření, ale díky úpravě již nevyzařuje do okolí. Neselektivní typy plochých kolektorů se používají především jako sezónní řešení. Absorbér se provádí obvykle z kovových materiálů, jako je hliník, měď, nebo ocel. Kolektorová skříň je buď z celistvého materiálu, nebo je skládaná. Skládaná sebou přináší nevýhodu nutnosti odvětrávání. Plochý kolektor s dvojitým zasklením je používán výjimečně. [1]



Obr. 2.3 Řez plochým kolektorem [11]

- **Vakuové kolektory**

Vakuové trubicové kolektory jsou provedeny v podobě trubice s absorbérem, jenž je tvořen úzkým pásem uvnitř trubice a pokryt selektivní vrstvou. Prostor mezi zasklením a absorbérem je vakuum. Tento typ kolektorů svým provedením dosahuje velmi nízkých ztrát. Nejzákladnější příklady vakuové technologie jsou trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou a s dvoustěnnou trubkou. Vakuové kolektory bývají většinou nákladnější. Podle konstrukčního uspořádání odvodu tepla se rozlišují na přímo protékané a s tepelnou trubicí. Teplo se v potrubí, v podobě smyčky, předává přímo do teplonosné kapaliny. U konstrukce s tepelnou trubicí se médium předává vypařováním a kondenzací tepla z výparníku do kondenzátoru. [12]

- **Koncentrační kolektory**

Sluneční záření je účinně soustředěno na absorbér. Plocha absorbérů se tím pádem zmenšuje. K soustředění záření se používá zrcadel a čoček. Účinnost se tím zvyšuje až o 25 %. Tento kolektor patří k těm nákladnějším, jelikož se používá speciálních zrcadlových, nebo čočkových koncentrátorů. Zajímavostí je, že teplota absorbérů se může blížit k teplotě slunečního povrchu. Nutností a nevýhodou je, že se kolektor musí neustále směřovat podle pohybu Slunce tak, aby odraz Slunce dopadal na absorbér. Taková konstrukce kolektoru se využívá u velkých solárních elektráren. [10,2]

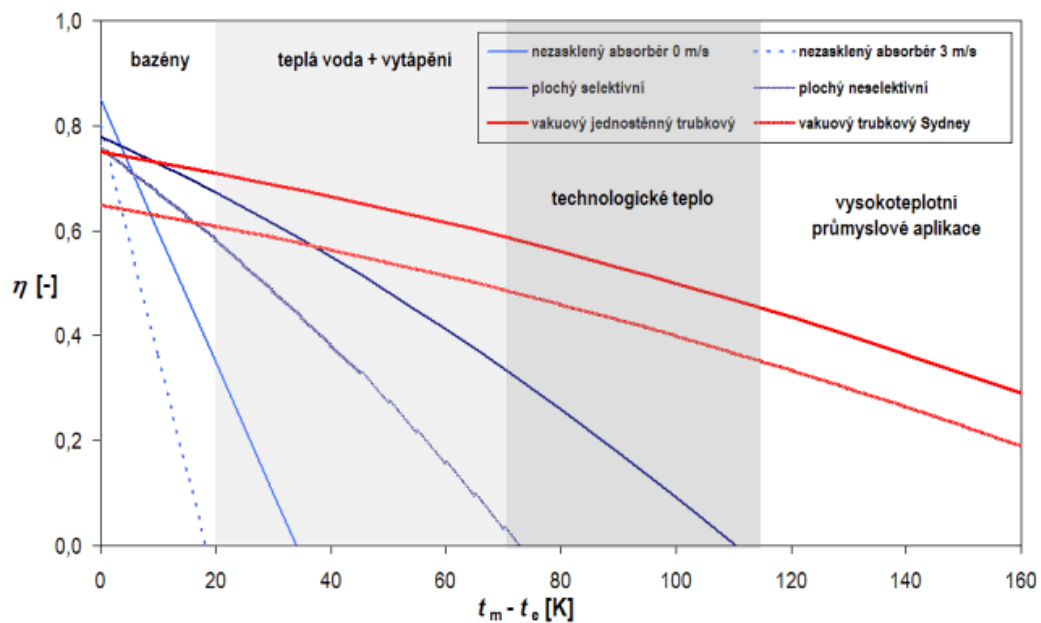
- **Vzduchové kolektory**

Teplonosným médiem je oproti předešlým kapalinovým zařízením vzduch. Cirkulaci vzduchu zajišťuje ventilátor anebo je použit pouze přirozený oběh vlivem vztlaku vzduchu. Technologie vzduchových kolektorů se dělí na systémy otevřené a uzavřené. Otevřený systém je realizován černými děrovanými plechy. Druhá technologie je se vzduchovými kolektory, které jsou uzavřené. Jsou zakryty sklem, s minimálním přísávaním vzduchu. Provoz systému vzduchových kolektorů se rozlišuje na letní a zimní provoz. Při použití pro vytápění se vždy jedná o uzavřený okruh. [3]

2.3.2 Účinnost kolektorů

Účinnost, s kterou kolektor využívá sluneční záření je přímo závislá na jeho technickém provedení, na absorpčním povrchu, druhu zasklení kolektoru. Závisí na rozdílu mezi teplotou kapaliny v kolektoru a teplotou okolního vzduchu a na slunečním ozáření. Výpočet účinnosti kolektorů se zabývá v návrhu zařízení, kapitola 6.2. Pro porovnání základních typů kolektorů, grafické znázornění na Obr. 2.4. Obrázek vyjadřuje závislost teplotního spádu při ozáření 800 W/m^2 .

Pro zvýšení pokrytí pro danou potřebu energie se kolektory skládají v kolektorové pole a to buď sériově, nebo paralelně. Při sériovém zapojení klesá účinnost kolektorů, je to způsobeno stoupáním teploty vlivem sériového zapojení. Při paralelním se účinnost nemění. [3]



Obr. 2.4 Účinnosti různých druhů kolektorů [13]

2.3.3 Předávání tepla

Pro předání a akumulaci tepla se v solárních fototermických systémech používají solární zásobníky. Z hlediska časové délky akumulace se zásobníky dělí na krátkodobé a dlouhodobé. V případě provozování systémů s dlouhodobou akumulací je zapotřebí velkého prostoru pro umístění zásobníku. K samotné akumulaci je možné použití různých rozličných technologií. Mezi tyto technologie se řadí systémy s akumulací citelného tepla, s využitím skupenského tepla, s využitím sorpčního tepla anebo s využitím chemických reakcí. Pro akumulaci se poté

při použití těchto technologií používá beton, kamenivo. U jiných pak parafín a vosky. Také je možné využití silikagelů a zeolitů. Nejběžnější látkou pro akumulaci je však obyčejná voda. Nejčastěji se pro účely rodinného domu tedy používají zásobníky s krátkodobou akumulací, využívající obyčejnou vodu. Voda je přiváděna z vodního řádu. Nevýhodami použití vody je tlak z vodního řádu, nebo maximální provozní teplota vody, která by neměla přesahovat 90 °C. Do zásobníku se z okruhu kolektoru předává teplo většinou přes výměník z důvodu oddělení okruhu s kolektorem a zásobníku. Oddělení je nutné především z důvodu celoročního provozu systému. V okruhu kolektoru teplotnosné médium obsahuje nemrzoucí směs. [1,2]

Podle počtu použitých výměníků v zásobníku se dále rozlišují na ty, které žádnou teplosměnnou plochu nemají, na zásobníky monovalentní a bivalentní zásobníky. Bivalentní zásobník (Obr. 2.5) se používá častěji, a to z důvodu v řazení dalšího zdroje tepla. V době nedostatečného solárního záření je nutné ohřev hradit jiným zdrojem. [1,2]

Zásobník by se vždy měl umisťovat nastojato. Z důvodu rozvrstvení teploty vody, by proto byly vodorovné typy zásobníku nevhodné. Solárním okruhem se přes dolní výměník v zásobníku ohřívá studená voda a stoupá výše kvůli snížení hustoty. Účinnost kolektoru se tímto způsobem zvyšuje, protože čím nižší teplota v okruhu kolektoru, tím vyšší jeho účinnost. [10]



Obr. 2.5 Solární zásobník s dvěma výměníky [14]

2.3.4 Další prvky solárních systémů

Mimo prvky, které uvádím níže, soustavy také obsahují samozřejmě potrubí, zpětné klapky a pojistné ventily. To proto, aby nedocházelo k vybití zásobníku. Pojistný ventil pouští přetlak. Dále také obsahuje různé měřicí přístroje tlaku a teploty. V neposlední řadě jsou soustavy také osazovány odvzdušňovacími ventily. [10]

- **Regulační zařízení**

Jednoduchou regulaci soustavy lze uskutečnit umístěním zásobníku tepla na úroveň kolektoru. Tomuto způsobu se také říká samočinná regulace. Pro reálné systémy, jako je realizace v rodinných domech, absolutně nevyhovuje. Proto se používá elektronických regulátorů, které se samy dokáží postarat o správný chod soustavy. [3] Regulátor je v základu určen k ovládní čerpadla. Kromě toho slouží také jako chránící prvek proti přehřívání zásobníku, pro měření tepelné rentability a regulování dohřívání vody záložními zdroji tepla. Regulátor je pak zcela nezbytný u soustav, které slouží pro přitápění. [2]

- **Oběhové čerpadlo**

Čerpadlem se uskutečňuje průběh kapaliny přes kolektor. S tím souvisí teplotní rozdíl a střední hodnota kapaliny v kolektoru. Při zvyšující teplotě se pak snižuje účinnost kolektoru. Při příliš velkém průtoku je zbytečně velká spotřeba elektřiny. [10] Vhodný průtok je blíže popsán v kapitole 2.3.6.

- **Expanzní nádoba**

Objem kapaliny v kolektoru není konstantní. Vlivem zvyšování a snižování teplot se mění. Proti možným poruchám se instaluje expanzní nádoba, která při zvýšení objemu nabírá kapalinu. Expanzní nádoba je tvořena ze dvou částí, přičemž v jedné z částí musí být nižší přetlak, než je provozní tlak zařízení. [10]

- **Směšovací ventil**

Ventil se umísťuje na výstupu ze zásobníku, nastavuje se tak, aby protékala voda o teplotě nejvýše 50 °C. Opatření zabraňuje opaření a také snižuje ztráty rozvodem vody do potrubní sítě. [10]

2.3.5 Provedení solárních soustav

Provedení solárních soustav je velké množství a dají se mezi sebou i různě kombinovat. Záleží především na konkrétních požadavcích a také na možném finančním vkladu do této technologie.

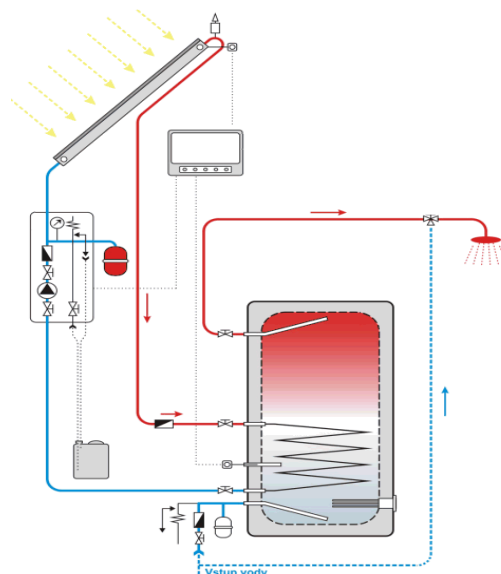
Soustavy, které jsou tvořené odděleným kolektorovým okruhem, se provozují buďto jako uzavřené anebo jako soustavy s vyprazdňováním. Uzavřené soustavy používají expanzní nádoby. Při zvýšení objemu se kapalina proudící kolektory vlévá do expanzní nádoby. Soustavy s vyprazdňováním mají kolektory vyplněny vzduchem do doby, než čidlo zaznamená dostatečnou teplotu pro ohřev. [1]

- **Solární soustavy pro bazény**

Jedná se o jednoduché provedení systému k ohřevu vody. V našich podmínkách se uvažuje o provozu takového zařízení v rozmezí dubna až září. Ohřev se provádí většinou pomocí jednoduchých plastových kolektorů. Požadavek na ohřev vody zde není tak velký jako u složitějších systémů. Vystačuje se zvýšením teploty vody o pár stupňů oproti teplotě okolí. Bazén je vhodné umístit na nezasíťovanou volnou plochu tak, aby nedocházelo ke ztrátám přes vodní hladinu. [2,15]

- **Solární soustavy pro přípravu teplé vody**

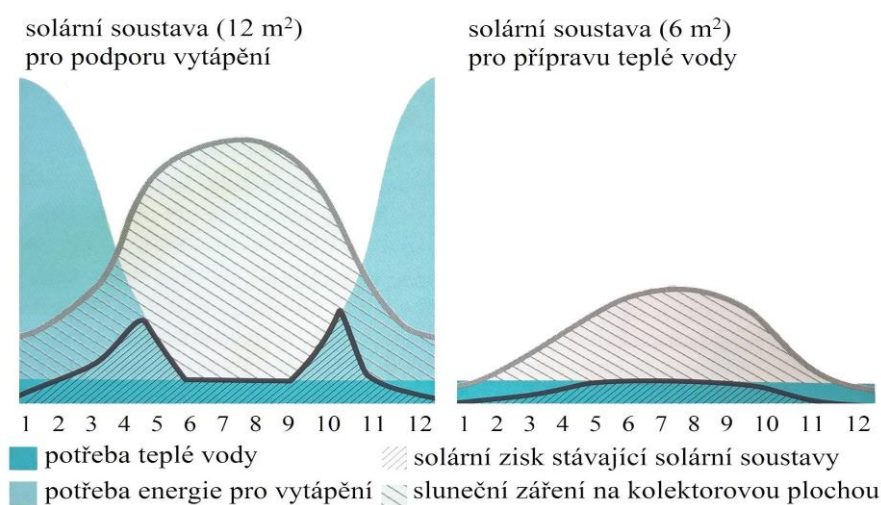
System je využíván pro celoroční ohřev vody. To znamená jak v horkých letních měsících, tak i v těch nejnepříznivějších zimních měsících. Požadovaná teplota vody se pohybuje okolo 50 °C. Pro ohřev na takovou teplotu a celoroční provoz již nevystačují obyčejné plastové kolektory, ale je zapotřebí použít ploché nebo vakuové kolektory. System celoročního ohřevu je doplňován o další zdroje tepla. Velikost použitých kolektorů se odvíjí od požadavku na denní množství ohřívání vody. Uvažuje se, že na 1 m² je to 40 až 60 l ohřáté vody denně. [2,3]



Obr. 2.6 Schématické zapojení ohřevu vody [16]

- **Solární soustavy pro podporu vytápění**

Použití solární technologie je nejvhodnější u nízkoenergetických úsporných domů, který nemá tak velké tepelné ztráty jako běžný dům. Systém pro vytápění je v základu shodný s tím na ohřev užitkové vody. Rozdíl je především ve velikosti kolektorové plochy, kde plocha potřebná pro vytápění bývá, dvojnásob, až čtyřnásobně větší oproti ploše, která vystačuje pro ohřev samotné vody. Většinou se kombinuje systém pro vytápění a ohřev vody, proto je důležitá správná regulace. Regulace je nastavena tak, že na prvním místě hradí spotřebu tepla pro ohřev vody a až potom se používá energie pro podporu přitápění. Na obrázku Obr. 2.7 je vidět potřeba tepla pro vytápění s porovnáním potřeby tepla na ohřev vody. [2,15]



Obr. 2.7 Porovnání potřeb tepla [15]

2.3.6 Typy proudění kapaliny v kolektoru

Soustavy se navrhují také podle možného měrného průtoku. Jednotlivé typy průtoku soustavou se rozdělují do tří oblastí. První je soustava s vysokým průtokem, při průtoku od $50 \text{ lh}^{-1}\text{m}^{-2}$ do $60 \text{ lh}^{-1}\text{m}^{-2}$ dosáhne ohřátí teploty o 8 °C až 12 °C . Zásobník se tímto způsobem pozvolně nabíjí. Tento provoz je ideální pro malé soustavy. Druhým způsobem průtoku je soustava s nízkým průtokem. Při nízkém průtoku se kapalina průchodem kolektoru zahřeje na větší teplotu. Využívají se z ekonomického hlediska především pro velké soustavy. Posledním uváděným, je soustava s proměnným průtokem. Regulačními zařízeními se řídí průtok kolektory. Dosahuje se tím větší účinnosti. Dnes se již technologie s proměnným průtokem využívá i pro malé soustavy. [1]

3 Solární termické systémy nabízené na trhu

Většina firem, nabízející kolektorová zařízení, zároveň nabízejí své vlastní zásobníky, nebo také klasické kotle anebo nabízejí rovnou kompletní sestavu určenou pro solární ohřev. Většina nabízených sestav je projektována na ohřev užitkové vody, menší množství sestav je pro vytápění. Na portálu tzb-info [17] se nachází databáze velkého množství výrobců solárních termických systémů a všechny firmy, na které jsem při tvorbě práce narazil, v této databázi byly obsaženy.

- **Vaillant group czech s.r.o.**

Mezinárodní společnost s tradicí 140 let. V České republice působí od roku 1992 a sídlí v Chrášťanech. Firma klade důraz na technologie využívající obnovitelných zdrojů. Především solární systémy a dále také tepelná čerpadla. Firma také jednotlivé technologie propojuje a nabízí hybridní systémy, které rozšiřují možnosti efektivnějšího využití obnovitelných zdrojů. Firma nabízí ploché solární kolektory určené pro horizontální i vertikální montáž. Panel má plochu 2,51 m² a jeho povrch je pokryt speciálním strukturovaným ochranným sklem o tloušťce 3,2 mm. Solární kolektor pro vertikální montáž se jmenuje auroTHERM VFK 145 V. Firma také nabízí vakuové trubicové kolektory, které mají i během zimního období vysokou účinnost. Kupříkladu kolektor auroTHERM exclusiv VTK 570/2 (Obr. 3.1). [18]



Obr. 3.1 Pohled na vakuový trubicový kolektor VTK 570/2 [18]

- **Družstevní závody Dražice – strojírna, s.r.o.**

Česká firma nabízí pouze ploché solární kolektory. Kolektor DZ 2000 P o ploše 2,09 m a kolektor DZ 3000 S o ploše 2,03 m. Tato firma je ale především výrobcem důležitého komponentu solárních soustav. Ohřívače vody firma nabízí ve svislém, vodorovném, stacionárním, elektrickém a kombinovaném provedení a v objemech od 5 l do 1000 l. Například stacionární ohřívač OKC 300 NTRR/SOL s dvěma spirálovými výměníky, u kterého lze ohřev provádět běžným kotlem v horním výměníku, nebo elektrickým tělesem. Dalším produktem je NADO 750/36 v6, jenž je dodáván bez izolace a je potřeba izolaci dokoupit zvlášť. [19]

- **Reflex CZ, s.r.o.**

Německá firma působící na českém trhu nabízí solární zařízení, akumulční zásobníky vody, expanzní automaty. Nabízí ploché solární kolektory RSK II o ploše 2,13 m² a 2,51 m². Povrch absorberu tvoří selektivní TiNOx vrstva. Dále nabízí i vakuové trubicové kolektory RVT II o ploše 2,19 m², tyto kolektory patří mezi novinku firmy. V nabídce firmy jsou i zásobníky teplé užitkové vody. [20]

- **Viesmann, spol. s.r.o.**

Jeden z předních mezinárodních výrobců termických solárních systémů, vytápěcí, chladič a klimatizační techniky, založena roku 1917. Firma nabízí dva typy plochých kolektorů, jedním z nich je Vitosol 100-F. Také nabízí trubicové kolektory, Vitosol 200-T. Vytváří řešení solární techniky přímo specifikované pro rodinné domy, bytové domy anebo průmysl. [21]

- **Regulus**

Česká firma založena roku 1992 vyrábějící vlastní solární technologie. Nabízí kompletní nabídku zařízení pro sestavení solárních soustav. Firma vyrábí velké množství plochých kolektorů, kolektor KPS11+ o ploše 2,31 m² nebo jiný KPG1H o ploše 2,39 m². Kromě plochých vyrábí také čtyři typy vakuových trubicových kolektorů v rozmezí ploch od 1 m² do 2,12 m². Firma také nabízí mnohé další technologie ohřevu vody, nebo různé druhy akumulčních nádrží. [22]

- **Wolf Česká republika s.r.o.**

Německá firma vyrábějící solární systémy, zásobníky, ohřívače vody a také vytápěcí techniku. Firma nabízí ploché kolektory TopSon, k jejíž výrobě se používají recyklovatelné materiály, šetrné k životnímu prostředí. Dalším nabízeným plochým kolektorem je kolektor CFK. Kromě plochých nabízí firma i jeden typ vakuového trubicového kolektoru, CRK. [23]

4 Popis vybraného rodinného domu

Objekt, pro který jsou navrhovány zařízení využívající solárního záření, je rodinný dům. Tento objekt se nachází v obci Droužkovice u Chomutova, ulice Větrná. Nadmořská výška umístěného objektu je 340 m.

Jedná se o dvoupodlažní rodinný dům s obydlým podkrovím a klasickou sedlovou střechou. Objekt je napojen na vodovodní rozvod z veřejné sítě, na kanalizační síť a na plynový rozvod z veřejné sítě. Dům není vybaven přívodem tepla. Energie nutná pro vytápění a pro ohřev užitkové vody je aktuálně provedena samostatným plynovým kotlem.

Na stavbu byly použity nejnovější stavební technologie. Obvodové zdi jsou ze zdiva KERATHERM 38 P+D, tloušťky 380 mm, vyzděné na tepelněizolační maltu a opatřené venkovní a vnitřní omítkou. Nosné příčky jsou ze zdiva KERATHERM 25 P+D, tloušťky 250 mm. Nenosné příčky jsou ze zdiva KERATHERM 50 P+DJ, tloušťky 115 mm. Sedlová střecha se sklonem 35° je vybavena tepelně izolační skelnou vatou o tloušťce 220 mm. Střecha je pokryta betonovými taškami KMB BETA. Dům je vybaven plastovými okny s izolačním dvojsklem značky VEKRA Prima. Na stavbu byly použity nejnovější stavební technologie. Skutečný rodinný dům byl zkolaudován v květnu 2015.

Pro účely návrhu solárního zařízení a řešení výpočtů byly mnou sestrojeny plány rodinného domu. Za pomoci aplikace určené pro 2D projektování, AutoCAD LT 2016. V příloze A až C je k nahlédnutí půdorys prvního nadzemního podlaží, druhého nadzemního podlaží a řez domem.

4.1 Tepelné ztráty budovy

Pro zjištění potřeby energie na vytápění je důležité nejdříve znát hodnotu tepelné ztráty budovy. Postupy a náležitosti použité pro výpočty jsou definovány normou ČSN 06 0210 (výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápěním).

4.1.1 Postup provedení výpočtu tepelných ztrát budovy

Výpočet ztrát se provádí pro každou místnost zvlášť a je zapisován do samostatných formulářů. Pro ukázkou je znázorněn na obrázku Obr. 4.1 a vyplněný formulář výpočtu

obývacího pokoje je v příloze D. Pro přehlednost se jednotlivé místnosti číselně rozdělují. Důležitým parametrem je výpočtová venkovní teplota. Je to průměrná teplota pěti nejchladnější po sobě jdoucích dnů. Pro danou dále počítanou lokalitu rodinného domu je tato hodnota stanovena na $-12\text{v } ^\circ\text{C}$. Písmeno „v“ označuje oblast v krajině s intenzivními větry. Pro každou z místností se také stanovuje výpočtová vnitřní teplota, která je pro danou místnost požadována. Pro ukázkou výpočtu ztrát obývací místnosti sloučené s kuchyní je požadovaná výpočtová vnitřní teplota stanovena na $20\text{ } ^\circ\text{C}$.

Číslo místnosti: _____ Název místnosti: _____
 Výška místnosti: _____
 Výpočtová vnitřní teplota: _____
 Výpočtová venkovní teplota: _____

Označení stěny	Délka	Plocha bez otvorů	Tloušťka	Plocha otvorů	Součinitel prostupu tepla otvory	Součinitel prostupu tepla stěnami, podlahou, stropem nebo střechem	Výpočtová vnější teplota	Základní tepelná ztráta prostupem tepla	Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	Přirážka na urychlení zátoku	Přirážka na světovou stranu
-	L [m]	S [m ²]	d [m]	S _O [m ²]	k _O [W.m ⁻² .K ⁻¹]	k [W.m ⁻² .K ⁻¹]	t _q [°C]	Q ₀ [W]	p1	p2	p3

Obr. 4.1 Formulář pro výpočet tepelných ztrát

Počítaná místnost se dále rozděluje na jednotlivé plochy svislých stěn, podlah a stropů. Pro výpočet ploch jsou uvažovány vnitřní rozměry místností. Jednotlivé plochy jsou rozděleny a počítány zvlášť do řádků formuláře (Obr. 4.1). Ke každé ploše je přiřazena daná tloušťka konstrukce, která odděluje místnost od přilehlých místností, nebo od venkovního prostředí. Do tabulky se dále zapisuje plocha otvoru v dané konstrukci. Ke každé konstrukci je nutné znát správný součinitel prostupu tepla. Tyto hodnoty jsou udávány výrobci, nebo v normě ČSN 73 0540-2:2011 (tepelná ochrana budov) lze nalézt požadované a doporučené hodnoty. V tomto případě jsem volil hodnoty (Tab. 4.1) udávané v technické zprávě rodinného domu. Hodnoty se shodují s těmi, které garantují daní výrobci. V další kolonce formuláře se zapisuje výpočtová vnější teplota za konstrukcí. Pokud je teplota za konstrukcí vyšší než v počítané místnosti, má tepelný tok zápornou hodnotu a jde o tepelný zisk.

Tab. 4.1 Hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)
Stěna 380 mm	0,300
Stěna 250 mm	0,429
Stěna 115 mm	0,828
Podlaha přilehlá k terénu	0,450
Strop mezi vytápěnými místnostmi	2,200
Strop k nevytápěné půdě	0,600
Střecha	0,160
Okno, francouzské okno	1,300
Vchodové dveře	3,500

Pro další postup je nutné nejdříve vypočítat základní tepelnou ztrátu prostupem tepla, podle vztahu

$$Q_o = \sum_{i=1}^{i=n} k_i S_i (t_i - t_{ei}) \quad (4.1)$$

kde Q_o základní tepelná ztráta prostupem tepla (W),
 k součinitel prostupu tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$),
 S plocha ochlazovaných částí konstrukce (m^2),
 t_i výpočtová vnitřní teplota ($^{\circ}\text{C}$),
 t_{ei} výpočtová vnější teplota ($^{\circ}\text{C}$).

První přírážka ve formuláři na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí závisí na průměrném součiniteli prostupu tepla všech konstrukcí místnosti. Hodnota se stanoví ze vztahu

$$k_c = \frac{Q_o}{\sum S(t_i - t_{ev})} \quad (4.2)$$

kde k_c průměrný součinitel prostupu tepla ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$),
 $\sum S$ celková plocha všech konstrukcí ohraničujících místnost (m^2),
 t_{ev} výpočtová venkovní teplota ($^{\circ}\text{C}$).

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí se následovně stanoví dle

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c \quad (4.3)$$

kde p_1 přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí (-).

S další přírážkou „ p_2 “ na urychlení zátopy se v bytové výstavbě obvykle nepočítá, je volena nula. Přírážka se uvažuje jen v případech, kdy ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění.

Poslední přírážka na světovou stranu se stanovuje podle orientace místnosti na světovou stranu více v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Přírážka na světovou stranu

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
p_3	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Další výpočet, který se již nezapisuje do formuláře je výpočet tepelné ztráty prostupem tepla, který je určený vztahem

$$Q_p = Q_o(1 + p_1 + p_2 + p_3), \quad (4.4)$$

kde Q_p tepelná ztráta místnosti prostupem tepla (W).

Výpočet tepelné ztráty prostoru větráním je významnou složkou celkové ztráty a určuje se ze vztahu

$$Q_v = 1300 \cdot V_v(t_i - t_e), \quad (4.5)$$

kde Q_v tepelná ztráta prostoru větráním (W),

V_v objemový tok větracího vzduchu (m^3s^{-1}).

Přičemž za hodnotu objemového toku větracího vzduchu se dosazuje hodnota větší z následujících dvou vztahů. Prvním je vztah 4.6.

$$V_{vH} = \frac{n_h}{3600} V_m, \quad (4.6)$$

kde V_{vH} potřebný objemový tok (m^3s^{-1}),

n_h intenzita výměny vzduchu (h^{-1}),

V_m vnitřní objem prostoru (m^3).

Druhým možným vztahem pro výpočet objemového toku při přirozeném větrání je

$$V_{vP} = \sum (i_{LV} L) BM, \quad (4.7)$$

- kde V_{VP} objemový tok infiltrací (m^3s^{-1}),
 i_{LV} součinitel spárové provzdušnosti ($m^3s^{-1}/mPa^{0,67}$),
 L délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří (m),
 B charakteristické číslo budovy ($Pa^{0,67}$),
 M charakteristické číslo místnosti (-).

Poslední hodnotou je tepelný zisk „ Q_Z “. Je tvořen produkcí svítidel, elektronických zařízení, různými technologiemi anebo tělesným teplem vydávaným lidmi. Zisk při výpočtu neuvažují pro jeho špatné přesné určení a proměnlivost.

Výsledná tepelná ztráta místnosti se určí dle

$$Q_m = Q_P + Q_V - Q_Z, \quad (4.8)$$

- kde Q_m celková tepelná ztráta místnosti (W).

Po vypočtení všech místností se výsledné hodnoty tepelných ztrát jednotlivých místností sečtou. Celková tepelná ztráta pro vzorový rodinný dům dle postupu výpočtu do formulářů vychází 6472 W. Tato mnou vypočtená hodnota je přibližně totožná, s hodnotou vypočtenou „on-line kalkulačkou úspor a dotací Zelená úsporám“ [24].

4.2 Výpočet spotřeby tepla na vytápění

Pro určení spotřeby tepla na vytápění v jednotlivých měsících roku se do vztahu 4.9 dosadí získaná celková ztráta. Pro danou lokalitu je uvažováno 225 otopných dnů. Hodnoty měsíční venkovní teploty získané aplikací PVGIS [25] a hodnoty vypočtené spotřeby tepla jsou umístěny v Tab. 4.3.

$$Q_{vyt} = 24 \cdot \varepsilon_o n Q_c \frac{(t_{ip} - t_{es})}{(t_{ip} - t_{ev})}, \quad (4.9)$$

- kde Q_{vyt} spotřeba tepla na vytápění (Wh),
 Q_c celková tepelná ztráta objektu (W),
 ε_o opravný součinitel (-),
 n počet dnů v měsíci (-),
 t_{ip} průměrná vnitřní teplota ($^{\circ}C$),
 t_{es} průměrná měsíční venkovní teplota ($^{\circ}C$).

Tab. 4.3 Průměrná teplota a spotřeba tepla pro vytápění v jednotlivých měsících

Měsíc	t_{es} (°C)	Q_{vyt} (kWh)
Leden	-1,0	2369,97
Únor	0,1	2028,49
Březen	3,5	1862,12
Duben	9,1	1190,44
Květen	13,8	135,43
Červen	16,9	0
Červenec	19,1	0
Srpen	18,6	0
Září	13,9	155,45
Říjen	8,9	1252,70
Listopad	4,1	1736,52
Prosinec	-0,2	2279,68

4.3 Výpočet spotřeby tepla na ohřev TUV

Pro rodinný dům, jenž je obýván třemi osobami, využívá vodu o teplotě 55 °C. Změřená hodnota spotřeby teplé vody činí, 43,6 litru na osobu za den. Pro porovnání dle normy ČSN EN 15316-3-1 (tepelné soustavy v budovách) je běžná hodnota 40 litrů za den. Pro výpočet spotřeby tepla použijeme vztah 4.10 a pro stanovení měsíční spotřeby vynásobíme hodnotu získanou výpočtem počtem dnů v daném měsíci. Výsledné hodnoty spotřeby tepla pro ohřev vody v Tab. 4.4.

$$Q_{TUV} = (1 + z_s) \frac{\rho c V_p (t_2 - t_1)}{3600}, \quad (4.10)$$

- kde Q_{TUV} spotřeba tepla na ohřev vody (Wh),
 z_s koeficient energetických ztrát systému (-),
 ρ měrná hmotnost vody (kg/m^3),
 c měrná tepelná kapacita vody (J/kgK),
 V_p potřeba vody (m^3/den),
 t_1 teplota studené vody (°C),
 t_2 teplota ohřáté vody (°C).

Tab. 4.4 Spotřeba tepla na ohřev TUV

Měsíc	Q_{vyt} (kWh)
Leden	316,20
Únor	285,60
Březen	316,20
Duben	306,00
Květen	316,20
Červen	306,00
Červenec	316,20
Srpen	316,20
Září	306,00
Říjen	316,20
Listopad	306,00
Prosinec	316,20

5 Dostupnost dopadající energie

V této kapitole je rozebírána velikost množství dopadající energie na oblast, kde je umístěn vzorový rodinný dům. Pro objektivní posouzení reálnosti hodnot jsou nejdříve zjištěny hodnoty ze specializované internetové databáze a poté je dále proveden samostatný výpočet.

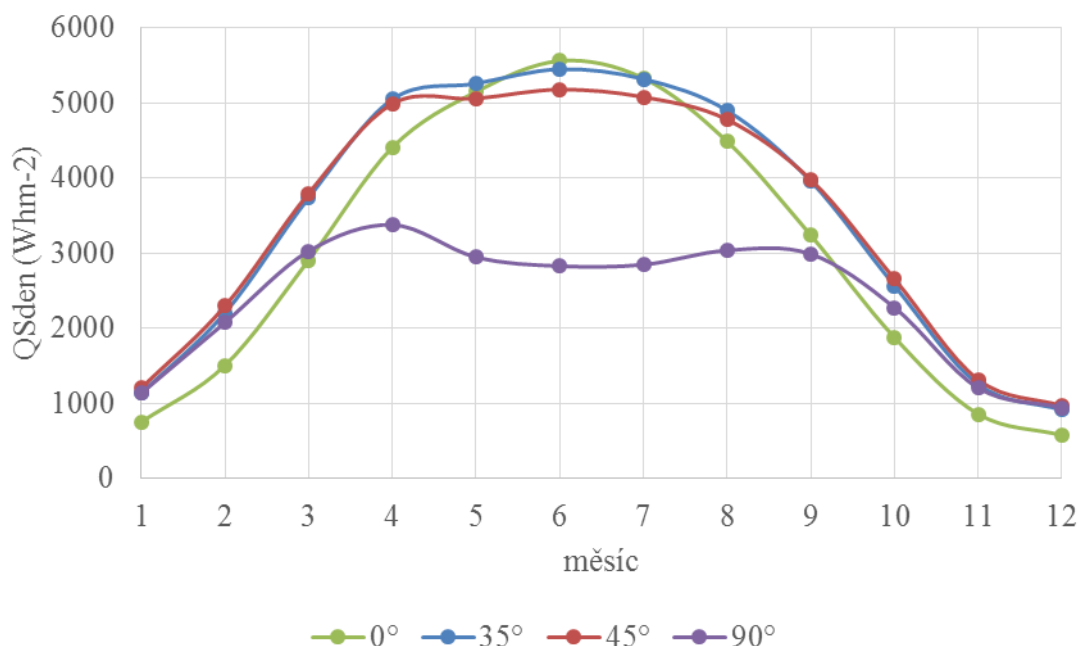
5.1 Hodnoty energie uváděné aplikací PVGIS

Použité hodnoty pocházejí z internetové aplikace PVGIS [25]. V této aplikaci se jednoduše určí požadovaná lokalita rodinného domu na mapě. Následovně se nastaví sklon plochy ve stupních od vodorovné roviny, ke které se budou data vztahovat a orientace ke světové straně. Po zadání požadavku výpočtu aplikace kromě výpisu hodnot průměrného slunečního záření uvede i průměrné měsíční venkovní teploty. V následující tabulce (Tab. 5.1) shrnuji denní sumy ozáření pro požadovaný sklon střechy (35°), na které bude zařízení umístěné a pro porovnání další sklony možných umístění zařízení.

Tab. 5.1 Denní sumy slunečního ozáření pro lokalitu rodinného domu [25]

Měsíc	Q_{Sden} (Whm^{-2}) pro uvedené úhly sklonu			
	0°	35°	45°	90°
Leden	757	1140	1210	1140
Únor	1510	2210	2300	2080
Březen	2910	3740	3800	3030
Duben	4410	5050	4990	3380
Květen	5150	5260	5060	2950
Červen	5560	5450	5180	2830
Červenec	5330	5320	5080	2850
Srpen	4490	4900	4780	3040
Září	3240	3960	3980	2990
Říjen	1880	2570	2660	2280
Listopad	862	1260	1320	1210
Prosinec	581	916	971	947

Pro lepší představení denního ozáření v závislosti na sklonu zařízení během roku jsou hodnoty vyobrazeny na následujícím grafu (Graf. 5.1).



Graf. 5.1 Denní sumy slunečního ozáření pro lokalitu rodinného domu

5.2 Výpočet energie

Následující výpočty vycházejí s knižní publikace J. Cihelky [3]. Jsou provedeny pro ověření dat získaných aplikací PVGIS [25] a pro možnost dalších výpočtů prováděných v následující kapitole. J. Cihelka v publikaci [3] uvádí také již velké množství vypočtených hodnot, ale hodnoty neodpovídají parametrům stanovenými vzorovým objektem.

Před výpočtem hodnoty energie slunečního záření je nutné vypočítat intenzity záření a první hodnotou je intenzita přímého záření dle vzorce

$$I_{pn} = I_0 \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right), \quad (5.1)$$

kde I_{pn} intenzita přímého záření (Wm^{-2}),
 I_0 sluneční konstanta (Wm^{-2}),
 Z součinitel znečištění atmosféry (-),
 ε součinitel, závislost výšky slunce a nadmořské výšky (-).

Součinitel znečištění pro výpočet intenzity přímého záření byl převzat z programu PVGIS [25] a pro lokalitu rodinného domu jsou hodnoty uvedené v tabulce Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Linkeho součinitel pro měsíční znečištění atmosféry [25]

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Z (-)	2,9	3,3	4,1	4	4,2	4,6	4,4	4,6	4,5	3,8	2,8	2,5

Součinitel závislosti výšky slunce a nadmořské výšky lokality rodinného domu se stanovuje dle vztahu

$$\varepsilon = \frac{9,380 \cdot [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (5.2)$$

kde h výška slunce nad obzorem (-),

H nadmořská výška (m).

Výška slunce nad obzorem se vypočítává podle vzorce 5.3. Pro tento výpočet a pro výpočet azimutu Slunce (5.6) je nutné uvést deklinaci slunce (Tab. 5.3) pro jednotlivé měsíce, z kterých se poté vychází.

Tab. 5.3 Sluneční deklinace [3]

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
δ	-20	-11,5	0	11,5	20	23,45	20	11,5	0	-11,5	-20	-23,45

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau, \quad (5.3)$$

kde φ zeměpisná šířka (°),

τ časový úhel (°).

Následujícím vztahem se určí intenzita přímého slunečního záření dopadajícího na plochu pod požadovaným sklonem, ten v tomto případě je dán sklonem střechy (35°),

$$I_p = I_{pn} \cos \gamma, \quad (5.4)$$

kde I_p intenzita přímého slunečního záření (Wm^{-2}),

γ úhel dopadu paprsků (°).

Úhel dopadu paprsků se určí dle

$$\cos \gamma = \sin h \cos \alpha + \cos h \sin \alpha \cos(a - a_s), \quad (5.5)$$

kde I_p intenzita přímého slunečního záření (Wm^{-2}),

α úhel plochy od vodorovné roviny (°),

a azimut slunce (-),

a_s azimut osluněné plochy (-).

Pro zjištění azimutu slunce se užije vztah

$$\sin a = \frac{\cos \delta}{\sin h} \sin \tau, \quad (5.6)$$

Po výpočtu přímého slunečního záření se musí vypočítat záření difúzní. Pro výpočet je uvažována hodnota reflexní schopnosti 0,2. Tento typ záření rozptylující se v atmosféře se spočítá ze vztahu

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) I_{Dh} + 0,5 \cdot r (1 - \cos \alpha) (I_{Ph} + I_{Dh}), \quad (5.7)$$

kde I_D intenzita difúzního slunečního záření (Wm^{-2}),
 r reflexní schopnost okolních ploch (-),
 I_{Ph} intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu (Wm^{-2}),
 I_{Dh} intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu (Wm^{-2}).

Intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu ze vztahu

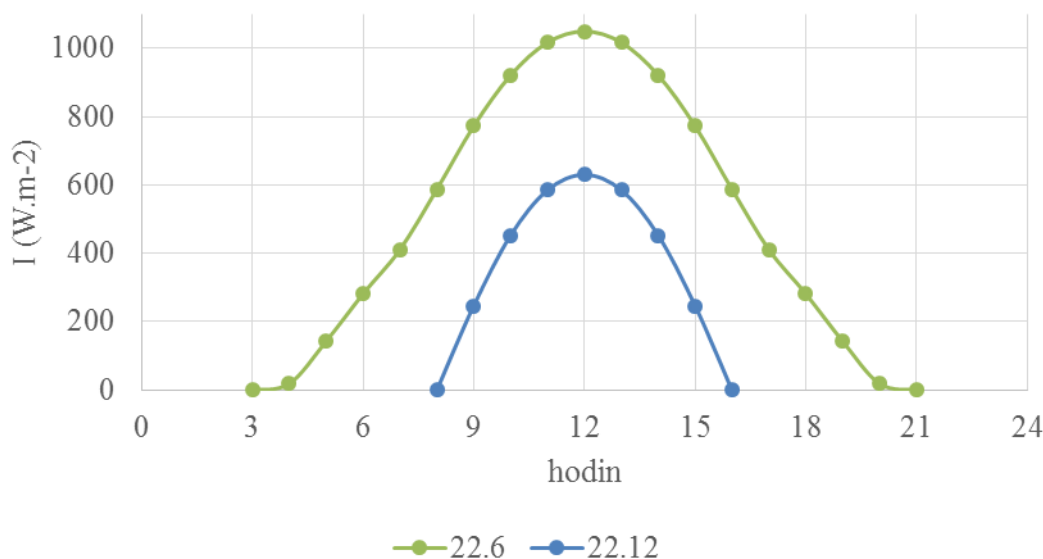
$$I_{Ph} = I_{Pn} \sin h, \quad (5.8)$$

a intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu ze vztahu

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \sin h. \quad (5.9)$$

Výsledná intenzita skládající se z přímého a difúzního záření se vypočítá podle vztahu 5.10. Pro dva vybrané měsíce, kdy je intenzita nejvyšší a nejnižší, uvádím grafické znázornění výsledků výpočtů v Graf. 5.2.

$$I = I_P + I_D. \quad (5.10)$$



Graf. 5.2 Intenzita celkového záření na plochu pod sklonem 35° od vodorovné roviny

Pro zjištění střední intenzity slunečního záření dané lokality se užívá vztah 5.11. Hodnoty střední intenzity jsou stěžejní pro správné určování účinnosti kolektoru. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab. 5.5.

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad (5.11)$$

kde $I_{stř}$ střední intenzita slunečního záření (Wm⁻²),

τ_{teor} teoretická doba slunečního svitu (h).

Hodnoty teoretické doby slunečního svitu jsem stanovil odečtem hodnot z internetové aplikace SunCalc [26] pro stanovené dny v měsících. Hodnoty skutečné doby slunečního svitu byly zvoleny z tabulky uváděné na stránce tzb-info [27]. Pro danou oblast nejsou skutečné doby k dispozici, a proto byla zvolena oblast nejbližší, město Žatec. Hodnota „ τ_p “ pak byla stanovena poměrem skutečné sluneční doby svitu k teoretické sluneční době svitu. Hodnoty jsou uvedené v následující tabulce Tab. 5.4.

Tab. 5.4 Hodnoty slunečního svitu

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
τ_{teor}	8,7	10,4	12,2	14,2	15,8	16,4	15,7	14,1	12,2	10,3	8,7	8,0
τ_{skut}	1,0	1,9	3,9	4,8	6,4	6,5	6,5	6,6	4,6	2,8	1,5	1,1
τ_p	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

Tab. 5.5 Střední intenzita slunečního záření

Měsíc	$I_{stř}$ (Wm^{-2})
Leden	457,38
Únor	498,47
Březen	624,42
Duben	664,10
Květen	651,71
Červen	584,81
Červenec	638,98
Srpen	624,33
Září	594,34
Říjen	457,13
Listopad	468,66
Prosinec	533,37

Z výsledků získaných výpočtem střední intenzity (5.11) se poté může jednoduše určit denní teoretické množství energie, podle vztahu

$$Q_{Sdenteor} = I_{stř} \tau_{teor}, \quad (5.12)$$

kde $Q_{Sdenteor}$ teoretické množství energie (Whm^{-2}).

Skutečná hodnota dopadající energie se následovně určí dle 5.13. Za hodnoty energie jsou dosazeny tabulkové hodnoty uvedené v Cihelkovo publikaci [3]. Hodnoty odpovídají správné zeměpisné šířce, ale nejsou přesně definovány pro dané znečištění (Tab. 5.2) a sklon. Volil jsem hodnoty nejbližší (Tab. 5.6) hodnotám požadovaným, výsledek ale proto nelze uvažovat jako přesný a vhodný pro další výpočty, ale pouze jako orientační ověření dlouhodobě získávaných hodnot (Tab. 5.1).

$$Q_{Sden} = \tau_p Q_{Sdenteor} + (1 - \tau_p) Q_{Dden}, \quad (5.13)$$

kde Q_{Sden} skutečné množství energie (Whm^{-2}),

Q_{Dden} energie difúzního záření (Whm^{-2}),

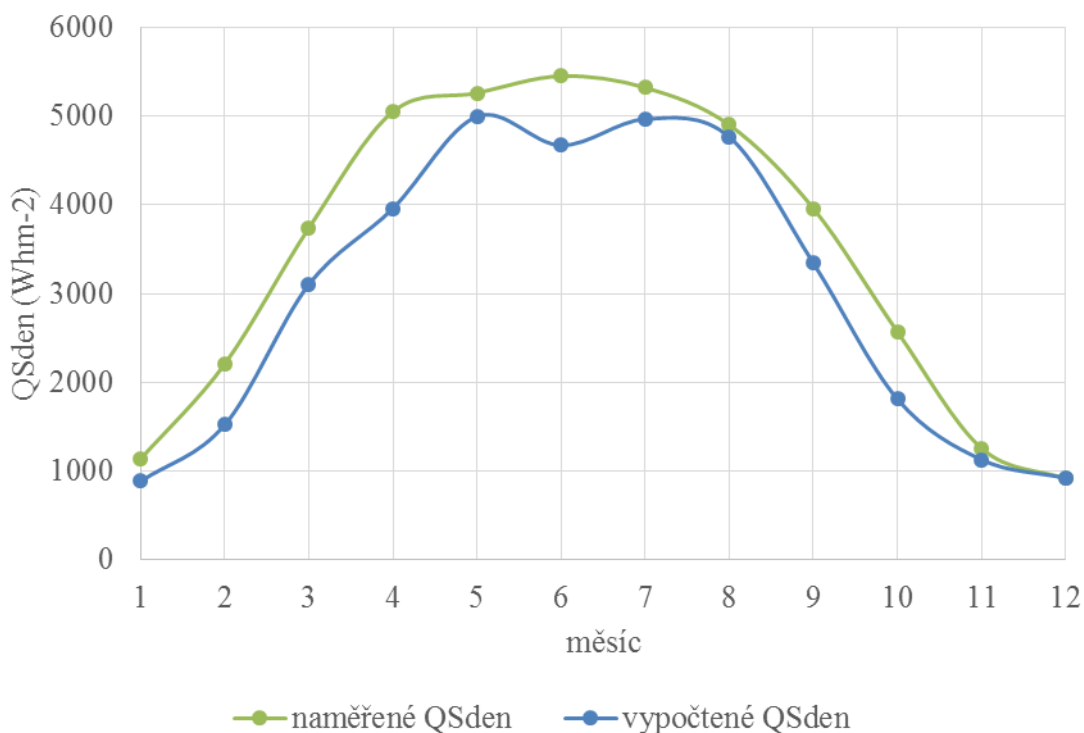
τ_p poměrná doba slunečního svitu (-).

Tab. 5.6 Tabulkové hodnoty energie difúzního záření [3]

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Q_{Dden} ($kWhm^{-2}$)	0,50	0,71	0,98	1,20	1,37	1,41	1,37	1,20	0,98	0,71	0,50	0,41

5.3 Porovnání hodnot

V následujícím grafu (Graf. 5.3) je porovnání hodnot získaných aplikací PVGIS [25] a vypočtených denních hodnot ozáření pro jednotlivé měsíce vztažené na plochu skloněné pod úhlem 35° od vodorovné roviny. Rozdíl mezi křivkami je pravděpodobně způsoben hodnotami skutečné doby slunečního svitu, které nejsou určeny přímo pro danou lokalitu a je obtížné je přesněji určit bez specializovaných placených programů. Pro další výpočty se uvažují hodnoty z aplikace PVGIS [25] a hodnoty vypočtené intenzity záření.



Graf. 5.3 Porovnání denních sum slunečního ozáření pro lokalitu rodinného domu

6 Návrh zařízení

6.1 Výběr zásobníku tepla

Pro správné navržení celého solárního systému je důležité zvolit ideální zásobník tepla. Když je již známá požadovaná měsíční spotřeba tepla rodinného domu během roku, pak se operuje s velikostí objemu zásobníku. Výběr velikosti zásobníku je v tomto případě oproti použití pouze pro ohřev vody, kdy je spotřeba tepla během roku konstantní. Pro použití zásobníku i pro přitápění je složitější tím, že v měsících, kdy je největší spotřeba tepla je naopak nejmenší solární zisk. Od typu zásobníku se odvíjí množství instalovaných kolektorů, kterým se pokryje požadavek energie zvoleného zásobníku. Na výstupu teplé vody zásobníku je teplota stanovena na 55 °C. Pro účely projektu jsem zvolil firmy Vaillant [18] a Dražice [19]. První vybraný zásobník od firmy Dražice pro ohřev užitkové vody, je OKC 300 NTRR/SOL o objemu 300 litrů. Od druhé firmy Vaillant je vybrán zásobník NADO 750/35 v6 o objemu 700 litrů pro ohřev užitkové vody a přitápění. Od této firmy jsou zároveň použity jimi vyrobené kolektory.

Matematicky je akumulace tepla popsána rovnicí 6.1. Látkou používanou k akumulaci je voda. V tabulce Tab. 6.1 jsou poznamenány vypočtené hodnoty pro jednotlivé zásobníky.

$$Q_{zas} = V\rho c(t_2 - t_1), \quad (6.1)$$

kde Q_{zas} energie nutná k ohřevu zásobníku (Wh),
 V objem zásobníku (m³). [1]

Tab. 6.1 Měsíční tepelná potřeba vybraných zásobníků

Měsíc	OKC 300 NTRR/SOL	NADO 750/35 v6
	Q _{zas} (kWh)	Q _{zas} (kWh)
Leden	485,80	1133,54
Únor	438,79	1096,98
Březen	485,80	1133,54
Duben	470,13	1096,98
Květen	485,80	1133,54
Červen	470,13	1096,98
Červenec	485,80	1133,54
Srpen	485,80	1133,54
Září	470,13	1096,98
Říjen	485,80	1133,54
Listopad	470,13	1096,98
Prosinec	485,80	1133,54

6.2 Výběr kolektoru

K výběru vhodného kolektoru je nutné správně určit jeho účinnost, která není po celý rok konstantní. Stanovováním účinnosti a výkonu kolektorů se zabývá norma ČSN EN ISO 9806. K přesnému určení je dobré použít některého z profesionálních počítačových programů, k příkladu mezi nejznámější patří programy T*SOL [28], Polysun [29], nebo f-CHART [30]. Takové programy jsou ale placené a já jsem je proto pro výpočty nepoužíval. Mezi jedny z dobrých neplacených pak patří počítačový program Solar 2.1 od firmy Reflex [20] anebo internetová aplikace na stránkách tzb-info [31]. Tyto programy jsem také použil pro ověření správnosti výpočtů. Pro mé výpočty využívám výpočty zjednodušené bilanční metody uvedené v knižní publikaci T. Matušky, Solární zařízení v příkladech [1]. Tato takzvaná zjednodušená měsíční bilanční metoda je standardizována normou TNI 73 0302 (energetické hodnocení solárních tepelných soustav). Od firmy Vaillant [18] jsem vybral dva odlišné kolektory. První s označením VFK 145 V je kolektor plochý a druhý s označením VTK 570/2 je kolektor vakuový trubkový. V tabulce Tab. 6.2 jsou vypsány konstanty pro vybrané kolektory. Tyto vstupní informace pro výpočet by měl uvádět každý výrobce.

Tab. 6.2 Parametry kolektorů

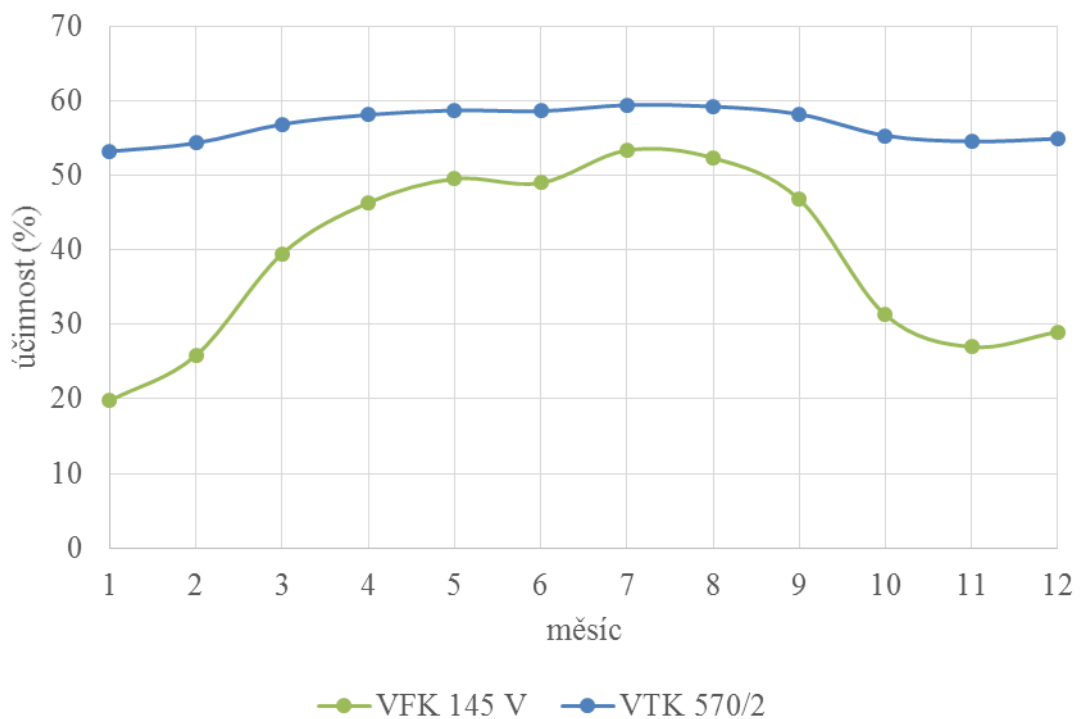
Typ	η_0 (-)	a_1 ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$)	a_2 ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-2}$)	A_k (m^2)
VFK 145 V	0,791	3,721	0,016	2,350
VTK 570/2	0,642	0,885	0,001	1,000

Účinnost se stanovuje pro uvažované teplotní klimatické podmínky lokality uvedené v tabulce Tab. 4.3. a vypočtené hodnoty střední intenzity slunečního záření jsou v tabulce Tab. 5.5. Pro jednotlivé měsíce tedy platí vzorec

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \frac{(t_m - t_v)}{I_{stř}} - a_2 \frac{(t_m - t_v)^2}{I_{stř}}, \quad (6.2)$$

- kde η_k účinnost kolektoru (-),
 η_0 účinnost při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím (-),
 a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$),
 a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-2}$),
 t_m průměrná teplota teplotnosné kapaliny v solárních kolektorech ($^{\circ}\text{C}$).

Průměrnou hodnotu teploty teplotnosné látky v solárních kolektorech se při zjednodušeném bilančním výpočtu stanovuje jako konstanta. Pro mnou uvažované dva návrhy je tato hodnota shodná a činí 50°C . Tato hodnota udává předpoklad, že příprava teplé vody a vytápění bude pokryta maximálně z 25 % anebo také, že příprava pouze teplé vody bude pokryta z více jak 70 %. U většího pokrytí, u systémů pro vytápění, je potom počítáno s hodnotou 60°C . Porovnání účinnosti jednotlivých kolektorů je graficky znázorněno v Graf. 6.1.



Graf. 6.1 Porovnání účinností vybraných kolektorů v průběhu roku

Pro zvolení velikosti plochy kolektorů se používá vztah 6.3. Ve vzorci se započítává předpokládaná desetiprocentní tlaková ztráta potrubí pro zpřesnění výpočtu [3]. V zimních měsících se vypočtená hodnota velikosti plochy pohybovala okolo 50 m² až k 70 m². Z praktických důvodů velikosti střechy, nebo jejího následného velkého zatížení vahou kolektorů, a ekonomických důvodů velké nákladnosti realizace. V případě takové realizace by zimní provoz byl proveditelný, ale v létě by nastávaly další stejně závažné problémy s velkými přebytky soustavy. Při správné volbě plochy bude v letním provozu zaručeno, že při nárazovém zvýšení potřeby tepla bude požadavek pokryt, v zimním provozu se pak počítá s dohříváním. Proto jsem volil optimální plochu z přelomu měsíců, kdy dochází k nárůstu anebo naopak ke snížení potřeby tepelné energie. To jsou měsíce duben, březen, říjen a listopad. Ke každým dvěma typům kolektoru jsem přiřadil jeden zásobník. Z těchto hodnot jsem určil „A_c“ vyhovující celkovou plochu. Počet kusů kolektoru použitých na pokrytí potřeby uvádím v tabulce Tab. 6.3.

Tab. 6.3 Celková plocha kolektorů

Typ zásobníku	Typ kolektoru	Počet kusů	A _c (m ²)
OKC 300 NTRR/SOL	VFK 145 V	2	4,7
	VTK 570/2	4	4
NADO 750/35 v6	VFK 145 V	4	9,4
	VTK 570/2	8	8

$$A_o = \frac{(1 - p_p) Q_{za.sř}}{Q_c}, \quad (6.3)$$

kde A_o optimální plocha kolektoru (m²),
p_p předpokládaná tlaková ztráta potrubí (-).

Získané množství solární energie zachycené kolektorem se vypočte ze vztahu 6.4. Hodnoty využitelného měsíčního zisku, vztažené k 1 m² uvažované plochy daného typu kolektoru, jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.4.

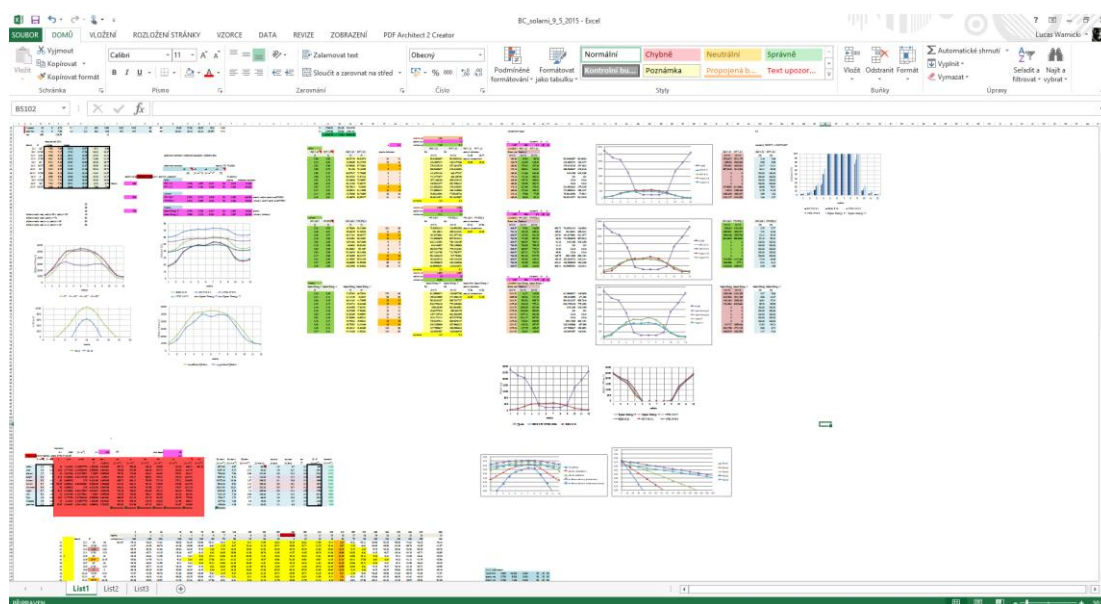
$$Q_k = \eta_k Q_{Smes}, \quad (6.4)$$

kde Q_k využitelný měsíční tepelný zisk solárního kolektoru (Whm⁻²),
Q_{Smes} měsíční sluneční ozáření (Whm⁻²),
A_c celková plocha apertury solárních kolektorů (m²).

Tab. 6.4 Využitelný měsíční zisk energie pro vybrané kolektory

Měsíc	VFK 145 V	VTK 570/2
	Q_{zas} (kWhm ⁻²)	Q_{zas} (kWhm ⁻²)
Leden	6,99	18,88
Únor	15,99	33,75
Březen	45,77	66,16
Duben	70,19	88,38
Květen	80,79	96,09
Červen	80,09	96,18
Červenec	88,02	98,35
Srpen	79,50	90,30
Září	55,58	69,40
Říjen	24,90	44,25
Listopad	10,20	20,70
Prosinec	8,24	15,65

Pro uváděný výpočet bilanční metody jsem potřebné rovnice aplikoval v programu Microsoft Excel 2013 (Obr. 6.1). Jak název metody napovídá, postupně jsem vybalancovával jednotlivé uváděné provedení.



Obr. 6.1 Okno programu Microsoft Excel 2013 pro výpočet zjednodušené bilanční metody

6.3 Specifikace sestav

Pro účely srovnání a zhodnocení jsem pomocí předchozích výpočtů sestavil čtyři různé sestavy. První dvě řeší pouze ohřev užitkové vody v daném řešeném objektu. Druhé dvě sestavy pak pracují kromě ohřevu užitkové vody navíc na přitápění v objektu. První dvě

sestavy značeny „1.1“ a „1.2“ využívají menšího zásobníku (OKC 300 NTRR/SOL). Na druhé dvě „2.1“ a „2.2“ je použit zásobník (NADO 750/35 v6). U každého z těchto zásobníků byla použita technologie plochých kolektorů (sestava „1.1“ a „2.1“) a u druhé poloviny technologie trubkových vakuových kolektorů (sestava „1.2“ a „2.2“). Ceny sestav jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.5.

Tab. 6.5 Ceny za navržené sestavy

Sestava	Celková cena bez DPH (Kč)	Celková cena s DPH (Kč)
1.1	75 830,00	91 754,30
1.2	112 230,00	135 798,30
2.1	133 996,00	162 135,16
2.2	206 796,00	250 223,16

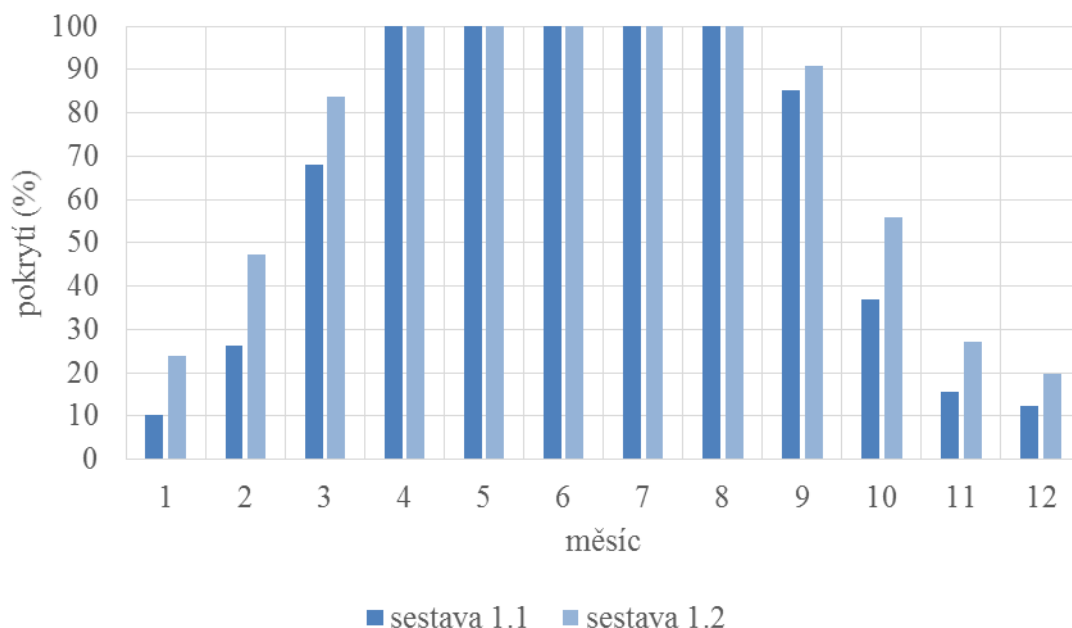
Jednotlivé komponenty použité v sestavách jsou rozepsány v tabulce Tab. 6.6, ve které jsou uvedeny také ceny jednotlivých položek.

Tab. 6.6 Rozpis jednotlivých položek a jejich cen

Položka	bez DPH (Kč)	s DPH (Kč)
Kolektor VFK 145 V	16 100,00	19 481,00
Kolektor VTK 570/2	16 400,00	19 844,00
Zásobník OKC 300 NTRR/SOL	15 655,00	18 954,65
Zásobník NADO 750/35 v6	33 058,00	40 000,18
Izolace Cella pro NADO 750/35 v6	4 793,00	5 799,53
Solární expanzní nádoba	2 500,00	3 025,00
Solární kapalina (10 l)	780,00	943,8
Řídící jednotka	3 650,00	4 416,5
Čerpadlová jednotka	12 300,00	14 883,00
Průtokoměr	198,00	239,58
Spojovací šroubení	400,00	484,00
Připojovací šroubení	90,00	108,90
T kus	18,00	21,78
Vsuvka	9,00	10,89
Kulový uzávěr	45,00	54,45
Automatický odvzdušňovač	175,00	211,75
Varný závit	32,00	38,72
Cu potrubí 15 mm (1 m)	110,00	133,10
Izolace armaflex (1 m)	98,00	118,58
Připojovací šroubení	90,00	108,90
Filtr	165,00	199,65
Kulový uzávěr	45,00	54,45
Montážní sada na střechu	1 500,00	1 815,00
Elektro příslušenství	500,00	605,00

7 Energetické zhodnocení

Množství získané využitelné energie pro ohřev užitkové vody je procentně znázorněn v grafu Graf. 7.1. Z grafu je pak viditelné z kolika procent je jaká sestava schopná pokrýt potřeby na ohřev užitkové vody v měsících během roku. Nedostatek je poté nutné hradit z jiných zdrojů.



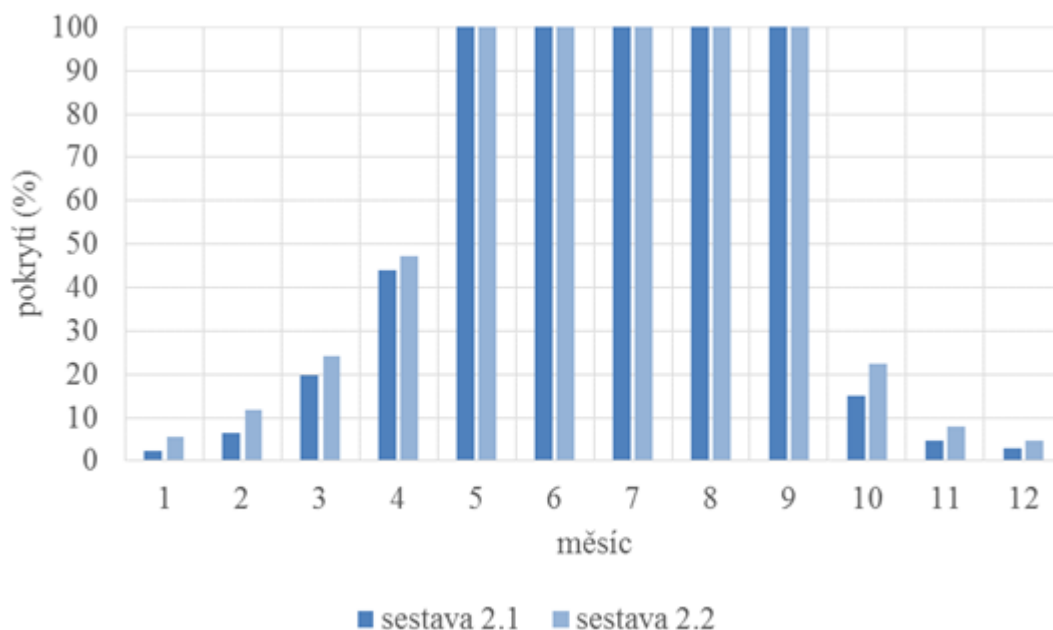
Graf. 7.1 Pokrytí potřeby tepla pro ohřev užitkové vody

V následující tabulce (Tab. 7.1) je číselně rozepsána získaná energie a energie, která se musí hradit z jiných zdrojů. V tabulce je také uvedeno procentně pokrytí dané sestavy.

Tab. 7.1 Pokrytí potřeby tepla na ohřev vody

Sestava	Získaná využitelná energie (kWh)	Energie nutná k dohřevu (kWh)	Pokrytí (%)
1.1	2436,99	1374,40	65,43
1.2	2751,42	1087,24	73,90

Následující graf (Graf. 7.2) je obdobný jako v předchozím případě, uvádí ale množství získané využitelné energie pro ohřev užitkové vody a přitápění. Nedostatek je nutné znovu hradit z jiných zdrojů. Z grafu je viditelný velký propad pokrytí solárním zařízením v měsících, kdy je největší potřeba tepla na vytápění.



Graf. 7.2 Pokrytí potřeby tepla pro ohřev užitkové vody a přitápění

V tabulce (Tab. 7.2) je číselně rozepsána získaná energie a velké množství energie, která se musí hradit z jiných zdrojů. Oproti ohřevu užitkové vody je množství energie potřebné pro dohřev několikanásobně vyšší. V tabulce je také uvedeno procentuální pokrytí danými sestavami.

Tab. 7.2 Pokrytí potřeby tepla na vytápění a ohřev vody

Sestava	Získaná využitelná energie (kWh)	Energie nutná k dohřevu (kWh)	Pokrytí (%)
2.1	3564,85	13168,93	21,30
2.2	4153,60	12580,18	24,82

8 Ekonomické zhodnocení

8.1 Nová zelená úsporám 2015

V české republice je možné získat za určitých podmínek peněžní dotaci od státu. Jde o program Nová zelená úsporám, zprostředkovaný Ministerstvem životního prostředí. Požádat může osoba vlastníci anebo stavebník rodinného domu a lze uplatnit pouze jednu žádost. Žádost je možné zaslat pouze elektronicky. Bližší informace o požadavcích a výše dotace se dají nalézt na internetových stránkách Nová zelená úsporám. [32] Pro účely projektu a určení dosažení dotace jsem převzal podstatné informace a data ze stránek [32]. V první tabulce (Tab. 8.1) je uvedena výše možné dotace pro daný systém, V další tabulce (Tab. 8.2) jsou rozepsány požadavky, které se musí splnit k poskytnutí dotace.

Tab. 8.1 Podporované systémy [32]

Označení	Typ systému	Výše podpory (kč)
C.3.1.	Solární systém na přípravu teplé vody	35000
C.3.2.	Solární systém na přípravu teplé vody a přitápění	50000

Tab. 8.2 Požadavky na solární termické systémy [32]

Sledovaný parametr	Jednotka	C.3.1.	C.3.2.
Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy	$Q_{ss,u}$ (kWhrok ⁻¹)	Bez požadavku	≥ 2200
Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy	$q_{ss,u}$ (kWhm ⁻² rok ⁻¹)	≥ 350	≥ 280
Dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody	(%)	≥ 50	Bez požadavku

8.2 Návratnost solárních sestav

Nyní, když jsou známé získané energetické výnosy všech solárních sestav a je známo jejich pokrytí, lze určit, zdali dostanou státní dotaci. Protože všechny navrhované sestavy podmínky splňují, je možné uvažovat návratnost s odečtenou dotací. Funkčnost neboli životnost sestav je odhadována na dvacet let. Průměrné provozní náklady pro ohřev vody jsou zhruba 1500 Kč a pro sestavy pro ohřev vody s přitápěním je to zhruba 2000 Kč.

Pro výpočet prosté doby návratnosti lze užít vztah 8.1. Ten ale nezohledňuje růst či pokles cen energií, ale pro představu návratnosti vystačuje. Na internetu lze také najít kalkulační nástroje pro výpočet návratnosti. Jeden z nich je na stránkách tzb-info [31]. Pro výpočet je důležité uvažovat cenu té energie, která slouží pro dohřívání. Proto jsem zvolil dva běžné typy ohřevu, elektřinou a pomocí zemního plynu.

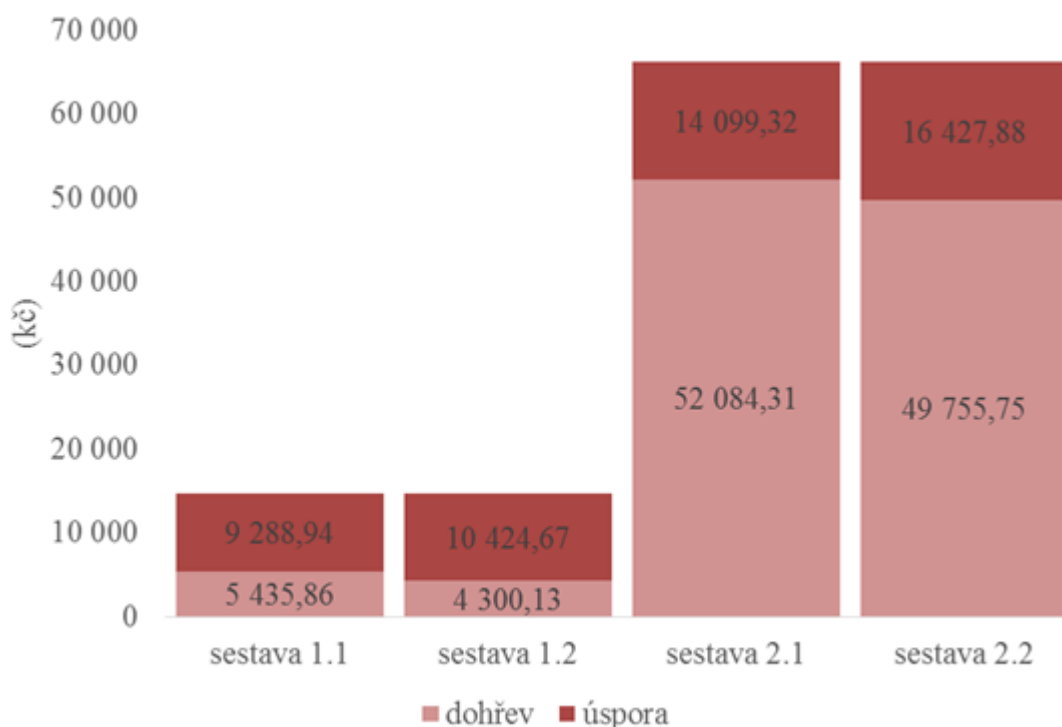
$$T_N = \frac{(T_Z N_p + N)}{c_e E}, \quad (8.1)$$

kde T_N prostá doba návratnosti (roky),
 T_Z doba životnosti (roky),
 N_p provozní náklady (Kč),
 N investiční náklady (Kč),
 C_e stávající cena energie (Kč/kWh),
 E získaná využitelná energie (kWh/rok). [2]

Pro případ hrazení dohřívání elektrickým proudem, byl zvolen tarif D25d [33] (nad 3x20 A do 3x25 A), který je pro ohřev výhodnější než běžné tarify, které se v domácnostech užívají (D01d a D02d). Průměrná cena za 1 kWh tedy u tohoto tarifu činí 3,76 Kč. V tabulce Tab. 8.3 jsou uvedeny částky, které dané sestavy za rok uspoří a dále je v tabulce uvedena návratnost daných sestav bez a s dotací. V grafu Graf. 8.1 jsou ve sloupcovém zobrazení pro jednotlivé sestavy uvedeny částky, uspořené společně s částkami nutnými uhradit pro pokrytí spotřeby tepla. Veškeré zde zmiňované částky jsou s DPH.

Tab. 8.3 Úspora energie a návratnost při dohřívání elektrickým proudem

Sestava	Úspora (Kč)	Návratnost bez dotace	Návratnost s dotací NZÚ
1.1	9 288,32	13,1	9,3
1.2	10 424,94	15,9	12,5
2.1	14 099,32	14,3	10,8
2.2	16 427,88	17,7	14,6



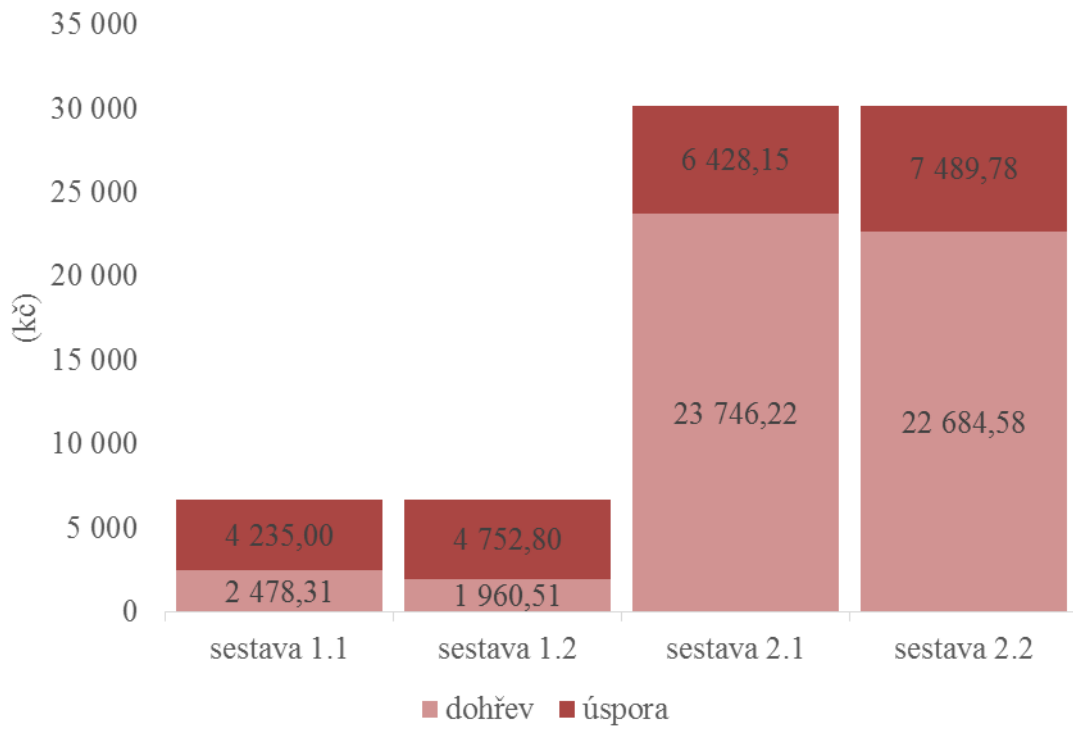
Graf. 8.1 Uspořené peněžní částky při dohřívání elektrickým proudem

Pro případ hrazení dohřívání zemním plynem v běžném plynovém kotli (účinnost 85 %), byl zvolen tarif PLYN FIX 24 domácnosti RWE GasNet [33]. Cena za 1 kWh u tohoto dodavatele činí 1,39 Kč. V tabulce Tab. 8.4 jsou uvedeny částky, které dané sestavy za rok uspoří a dále je v tabulce uvedena návratnost daných sestav bez a s dotací. V grafu Graf. 8., jsou ve sloupcovém zobrazení pro jednotlivé sestavy uvedeny částky uspořené společně s částkami nutnými uhradit pro pokrytí spotřeby tepla. Veškeré zde zmiňované částky jsou s DPH.

Tab. 8.4 Úspora energie a návratnost při dohřívání běžným plynovým kotlem

Sestava	Úspora (Kč)	Návratnost bez dotace (let)	Návratnost s dotací NZÚ (let)
1.1	4 235,00	28,7	20,5
1.2	4 752,80	34,9	27,5
2.1	6 428,15	31,4	23,7
2.2	7 489,78	38,7	32,1

Z grafu Graf. 8.2 je také vidět o kolik je ohřev zemním plynem levnější, než v případě s elektrickým proudem v grafu Graf. 8.1. Levnější ceny za dohřívání avšak vedou k výraznému zvýšení návratnosti navržených sestav.



Graf. 8.2 Uspořené peněžní částky při dohřívání běžným plynovým kotlem

Závěr

V úvodní části mé bakalářské práce jsem provedl teoretický rozbor problematiky slunečního záření od jeho vzniku až po dopad na zemský povrch. Dále jsem v první polovině práce rozepsal různé technologické řešení využití slunečního záření pro ohřev vody a vytápění v rodinném domě. Nejvíce jsem se v teoretické části zaměřil na solární termické systémy. Následovně jsem uvedl několik výrobců, kteří se tímto odvětvím zabývají a jsou dostupní na českém trhu.

V další části práce jsem zpracovával výpočty důležité pro návrh solárního zařízení pro konkrétní rodinný dům. Nejdříve bylo nutné zjistit tepelnou ztrátu budovy, kterou jsem zvolil pro návrh. Celková tepelná ztráta objektu vyšla 6472 W. Z této hodnoty jsem určil potřebu tepla pro vytápění v jednotlivých měsících roku. Také bylo důležité určit potřebu tepla pro ohřev užitkové vody pro jednotlivé měsíce v roce. Pro další výpočty spojené s návrhem bylo důležité zjistit denní sumy slunečního záření v dané lokalitě. Také jsem provedl výpočet střední intenzity slunečního záření, tato hodnota je zásadní pro správné určení účinnosti kolektoru.

Při znalosti všech důležitých hodnot jsem mohl přistoupit k samotnému návrhu solárních systémů. Rozhodl jsem se pro navržení systému jednak pro ohřev pouze užitkové vody a dále pro ohřev užitkové vody s podporou vytápění tak, aby se daly tyto systémy porovnat. Zvolil jsem dva druhy kolektorů, první plochý kolektor a druhý vakuový trubcový kolektor. Vakuový kolektor má totiž i v zimě poměrně vysokou účinnost. Pro ohřev pouze užitkové vody jsem zvolil 300 litrový zásobník a k němu přiřadil oba dva typy kolektorů. První provedení nazvané „1.1“ s plochým kolektorem druhé s vakuovým trubcovým kolektorem nazvaný „1.2“. Obdobně bylo voleno pro systém ohřevu užitkové vody s podporou přitápění. Zvolen byl větší zásobník o objemu 700 litrů a znovu byl přiřazen s plochým kolektorem „2.1“ a vakuovým trubcovým kolektorem „2.2“. Jednotlivé sestavy byly optimalizovány tak, aby během léta nebyl přebytek tepla, které by zbytečně celý systém zatěžovalo. Nejjednodušší systém byl sestaven za zhruba 92 000 Kč, ten nejsložitější s vakuovými kolektory pro podporu vytápění pak stojí 250 000 Kč.

První systémy pro ohřev užitkové vody „1.1“ hradí potřebu tepla z 65,43 %, druhý „1.2“ ze 73,90 %. Systém s podporou vytápění „2.1“ z 21,30 % a druhý systém s vakuovými

kolektory z 24,82 %. Přestože se pokrytím systémy od sebe zas tak moc neliší, tak cenově jsou systémy s vakuovými kolektory výrazně dražší. U systémů pro ohřev vody je tento rozdíl zhruba 45 000 Kč, u systémů s podporou vytápění se částka až zdvojnásobuje na zhruba 90 000 Kč.

Při výpočtu návratnosti bylo nutné zvolit, jakým zdrojem se bude hradit dohřívání u jednotlivých navržených systémů. Zvažoval jsem dva nejběžnější způsoby. První elektrickým proudem a druhý uvažovaný způsob byl běžným plynovým kotlem. Při hrazení elektrickým proudem a přidělením státní dotace, jejíž podmínky všechny systémy splňují, je návratnost u systémů pro ohřev vody 9,3 let (systém 1.1) a 12,5 let (systém 1.2) a u systémů s podporou přitápění 10,8 let (systém 2.1) a 14,5 let (systém 2.2). Bez dotace se návratnost prodlužuje a nepřesahuje 20 let. Při druhém způsobu dohřívání zemním plynem je ale cena za 1 kWh výrazně nižší a tím jak je nižší cena energie, kterou se hradí dohřívání, tím je návratnost delší. Při dohřívání zemním plynem a uvažování státní dotace je návratnost u systémů pro ohřev vody 20,5 let (systém 1.1) a 27,5 let (systém 1.2) a u systémů s podporou přitápění 23,5 let (systém 2.1) a 32,1 let (systém 2.2). Návratnost s dohříváním zemním plynem tedy přesahuje životnost samotných systémů. Solární systémy pro zvolený objekt mají rozumnou návratnost při dohřívání elektrickým proudem, ale částky pro hrazení dohřívání jsou velmi vysoké.

Protože je rodinný dům připojen na rozvod zemního plynu a plyn je výrazně levnější než elektrický proud, logicky bych zvolil pro dohřívání právě zemní plyn. Návratnost je pak ale vysoká, jak bylo zmíněno výše. Systémy s dohřívání elektrickým proudem bych volil, pokud by objekt nebyl připojen na rozvod zemního plynu. V tomto případě předpokládám, že by systém byl rentabilní a ušetřil by výrazně náklady na hrazení tepla v objektu jak pro ohřev pouze užitkové vody, tak i v případě s podporou vytápění. Pro zde uváděný objekt bych ale solární systémy volil pouze v případě, když by majitel uvažoval o jakési energetické soběstačnosti, nebo pokud by mnou navržené systémy byly kombinovány s doplněním kupříkladu o tepelné čerpadlo, to ale nebylo v zamýšleném rozsahu bakalářské práce. Předpokládám, že pro tento rodinný dům by bylo nejvhodnější z ekonomického pohledu řešit vytápění a ohřev teplé užitkové vody pouze kondenzačním plynovým kotlem, který má velmi vysokou účinnost a pořizovací náklady nejsou vysoké s porovnáním se solárními systémy.

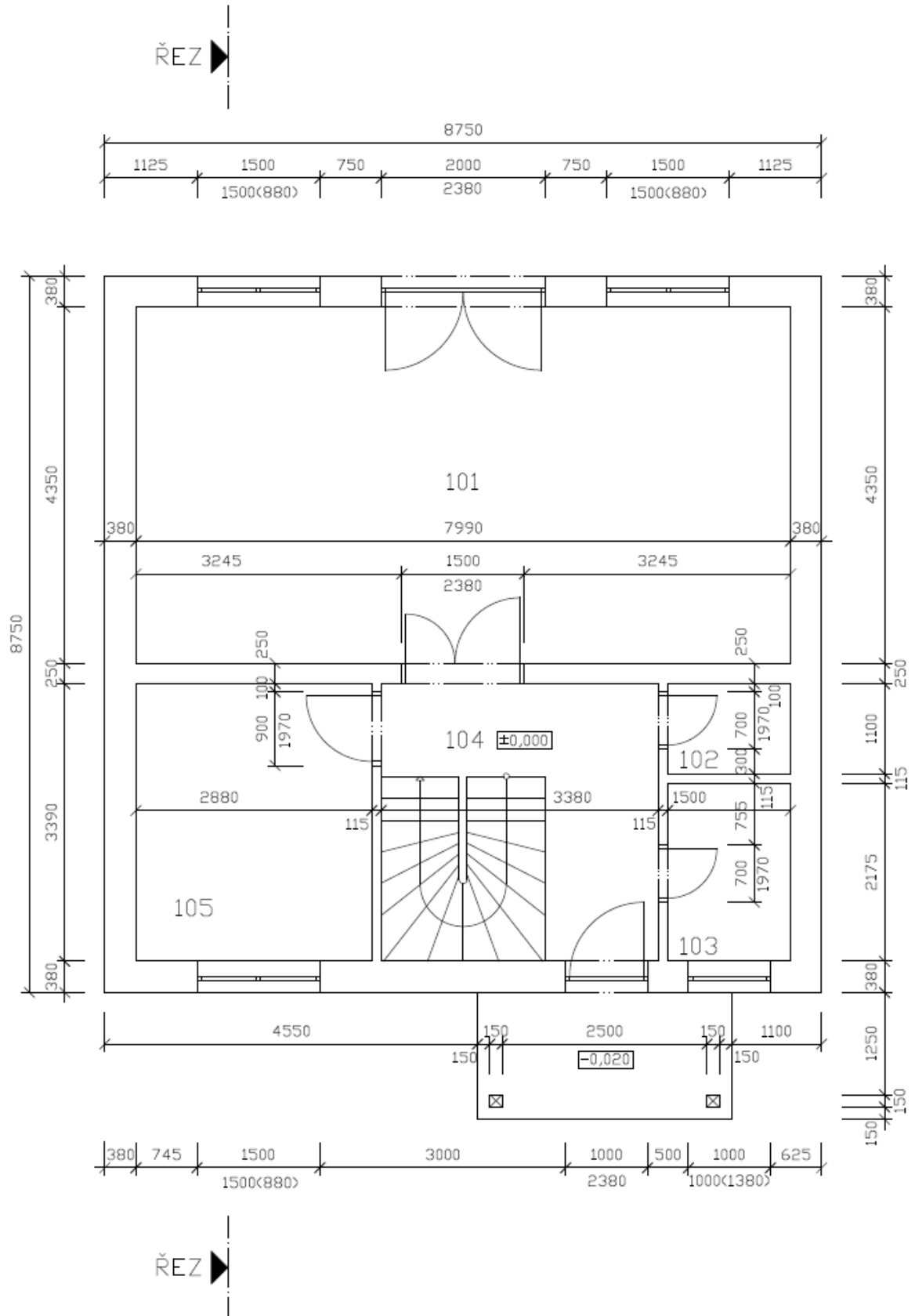
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 254 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [2] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, vi, 91 s. 21. století. ISBN 80-7366-029-6.
- [3] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [4] PVGIS [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [5] CAPEHART, B. *Encyclopedia of energy engineering and technology*. Boca Raton, FL: CRC Press, c2007, 3 v. (xxxix, 1667, I-44 p.). ISBN 14200541553.
- [6] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [7] Fotovoltaická transformace energie [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/fotovoltaicka-transformace-energie--10266>
- [8] Ohřev vody pomocí fotovoltaiky [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/ohrev-vody-fotovoltaikou/>
- [9] Ohřev vody z fotovoltaických solárních panelů [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.jrpsolar.cz/fotovoltaicky-ohrev-vody/>
- [10] THEMEßL, Armin a Werner WEIß. *Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí*. V Gradě 1. vyd. Praha: Grada, 2005.
- [11] Ploché solární kolektory [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.junkersplus.cz/junkersplus/eshop/19-1-Ploche-solarni-kolektory>
- [12] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 136 s. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [13] Účinnost solárního kolektoru [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/161-ucinnost-solarniho-kolektoru>
- [14] Herz [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.herz.cz/produkty/zasobniky/zasobniky-pro-teplou-vodu/>
- [15] REMMERS, Karl-Heinz. *Velká solární zařízení: úvod k navrhování a provozu*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, 315 s. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-110-6.
- [16] ArtProfi [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.artprofi.cz/sortiment/solarka>

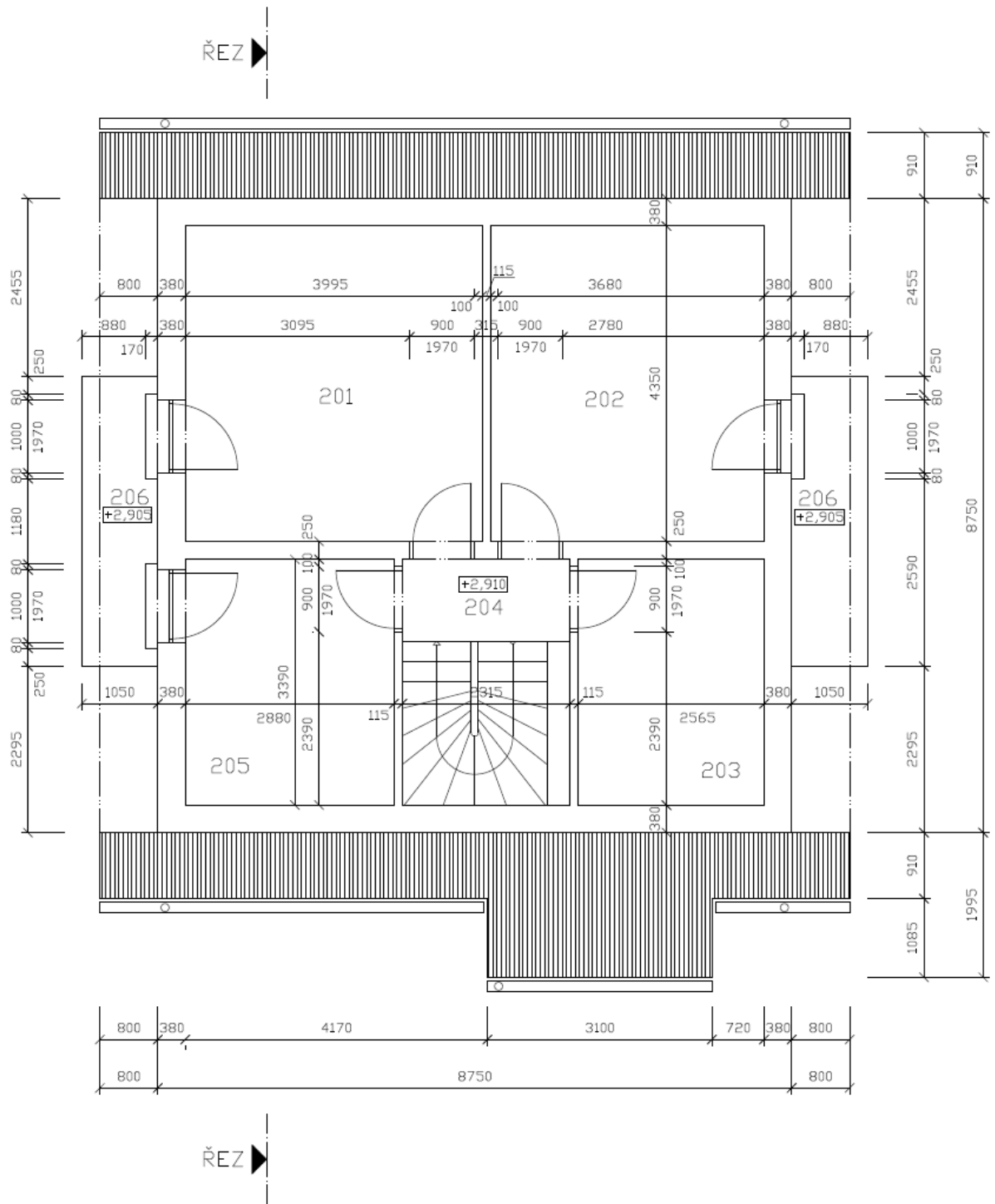
- [17] Sluneční kolektory - přehled trhu [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1862-slunecni-kolektory-prehled-trhu>
- [18] Vaillant [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.vaillant.cz/>
- [19] Dražice [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs>
- [20] Reflex [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.reflexcz.cz/>
- [21] Viessmann [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/>
- [22] Regulus [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/>
- [23] Wolf [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.wolfcr.cz/>
- [24] On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [25] PVGIS [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [26] SunCalc [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://suncalc.net/#/50.4367,13.429,15/2015.05.02/18:29>
- [27] Průměrné měsíční doby slunečního svitu [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>
- [28] Dynamic thermal Simulation Program [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.valentin-software.com/en/products/solar-thermal/14/tsol>
- [29] Polysun Simulation Software [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.velasolaris.com/english/home.html>
- [30] *F-Chart* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.fchart.com/fchart/>
- [31] Tzb-info [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [32] Nová zelená úsporám [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/2-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c/>
- [33] Čez [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/ke-stazeni/ceniky.html>

Přílohy

Příloha A – Půdorys prvního nadzemního podlaží rodinného domu



Příloha B - Půdorys druhého nadzemního podlaží rodinného domu



Příloha C - Řez rodinným domem

