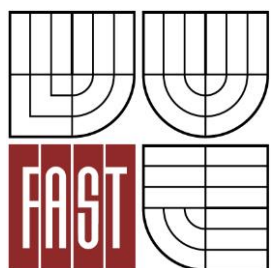




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE V RODINNÉM DOMĚ

OPTIMISING THE USE OF SOLAR ENERGY IN THE FAMILY HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JANA LETOCHOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ONDŘEJ ŠIKULA, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. JANA LETOCHOVÁ
Název	Optimalizace využití solární energie v rodinném domě
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Počítačová simulace

Teoretické řešení úlohy, aplikace software pro simulaci energetických toků v průběhu roku.

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá sluncem, jako jedním z alternativních zdrojů energie, a možnostmi jeho využití v rodinném domě. V první části jsem se zaměřila na jednotlivé způsoby zapojení solárních systémů a jejich návrh pomocí simulačních programů. Ve druhé části jsem navrhla přípravu teplé vody pro daný rodinný dům. Na závěr uvádím porovnání účinnosti zvoleného kolektoru dle jednotlivých přístupů výpočtu.

Klíčová slova

Slunce jako zdroj energie, fototermální systémy, výpočetní technika a modelování, profil užívání, technické řešení kolektorů, intenzita slunečního záření, simulace solárního kolektoru.

Abstract

This thesis is focused on solar energy as an alternative sustainable energy source and its use in family homes. The first part focuses on possible connections of solar energy systems and their design using software simulations. The second part consists of a design for the preparation of hot water in the family home. Finally, a comparison of the efficiency of the set collector according to different calculation methods is included.

Keywords

The sun as an energy source, photothermal systems, computing and modeling, usage, technical possibilities of collectors, intensity of solar radiation, solar collector simulation.

Bibliografická citace VŠKP

LETOCHOVÁ, Jana. *Optimalizace využití solární energie v rodinném domě*. Brno, 2014. 133 s., 33 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 17. 1. 2014

.....
podpis autora
Bc. Jana Letochová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Ondřeji Šikulovi, Ph.D. za odborné vedení a rady při konzultacích po dobu zpracování mé diplomové práce. Dále bych poděkovala svému příteli Tomáši Mienskému za podporu a velkou trpělivost při studiu.

OBSAH

Úvod.....	9
A) ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ.....	10
1 SLUNCE.....	11
2 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ V PRAXI	13
2.1 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	13
2.2 FOTOTERMÁLNÍ SYSTÉMY	14
2.2.1 TYPY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ	15
2.2.2 KONCENTRAČNÍ KOLEKTORY	16
3 ZAPOJENÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV.....	17
3.1 DRUHY ZAPOJENÍ	18
3.2 DRUHY ZÁSOBNÍKŮ.....	18
3.3 DODATKOVÝ ZDROJ TEPLA	20
4 NORMOVÉ A LEGISLATIVNÍ PODKLADY	21
5 NÁVRH SOLÁRNÍCH SOUSTAV	22
5.1 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ.....	22
5.1.1 ÚČINNOST SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ.....	22
5.1.2 SKLON KOLEKTORŮ	24
5.1.3 POTŘEBA TEPLA	24
5.1.4 PLOCHA KOLEKTORŮ	25
5.1.5 TEPELNÉ ZISKY SOUSTAVY	26
5.1.6 DALŠÍ PRVKY SOLÁRNÍHO OKRUHU	27
5.2 VÝPOČETNÍ TECHNIKA A MODELOVÁNÍ.....	28
5.2.1 PROGRAM POLYSUN.....	29
5.2.2 PROGRAM T*SOL.....	29
5.2.3 PROGRAM GETSOLAR	30
5.2.4 PROGRAM TRNSYS.....	30
5.2.5 PROGRAMY VYKON, BILANCESS	31
B) APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ	32
6 ANALÝZA OBLASTI.....	33
7 ANALÝZA BUDOVY	35
7.1 TECHNICKÝ STAV BUDOVY A JEHO ŘEŠENÍ.....	36
7.1.1 ENERGETICKÉ HODNOCENÍ	36
8 PROFIL UŽÍVÁNÍ	39
8.1 SPOTŘEBA VODY	39
8.1.1 SPOTŘEBA TV.....	39
8.2 SPOTŘEBA TEPLA	41
8.2.1 PŘÍPRAVA TV	42
8.3 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	45
8.3.1 TEPELNÉ ZISKY	45
8.3.2 VYTÁPĚNÍ.....	46
9 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ KOLEKTORŮ.....	48
9.1 ZÍSKANÁ ENERGIE	48
9.2 OPTIMÁLNÍ SKLON	50
9.2.1 INTENZITA SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ.....	51

9.3	POČET KOLEKTORŮ	55
9.4	UMÍSTĚNÍ	61
9.5	SYSTÉM ZAPOJENÍ	63
9.6	DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	64
9.6.1	NEMRZNOUCÍ KAPALINA	64
9.6.2	URČENÍ PRŮTOKU, DIMENZÍ A TLAKOVÝCH ZTRÁT	65
9.7	ZAŘÍZENÍ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	65
10	TECHNICKÁ ZPRÁVA	67
11	INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ 2012	70
11.1	SKUTEČNÁ INTENZITA NA HORIZONT	75
11.2	PŘEPOČETNÍ FUNKCE	76
12	HODNOCENÍ	82
12.1	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	82
C)	POČÍTAČOVÁ SIMULACE	84
13	SIMULACE SYSTÉMU	85
13.1	OBEČNÝ POPIS PROGRAMU ESP-R	85
13.2	ÚČEL	85
13.3	STRUKTURA PROGRAMU	87
13.3.1	POLOŽKY MENU	88
13.3.2	SEKCE „CURRENT MODEL“	88
13.3.3	DATABÁZE	88
13.3.4	OVĚŘOVÁNÍ, TESTOVÁNÍ	93
13.3.5	PROHLÍŽENÍ/SIMULACE	93
13.4	SIMULACE	104
14	SIMULACE KOLEKTORU	105
14.1	ENERGETICKÁ BILANCE TEPELNÝCH TOKŮ	105
14.2	SOUČINITEL PŘESTUPU TEPLA	107
14.3	OBEČNÝ POPIS PROGRAMU KOLEKTOR	112
14.4	STRUKTURA PROGRAMU	112
14.4.1	DESIGN PARAMETERS	113
14.4.2	ABSORBER	114
14.4.3	GLAZING AND INSULATION	115
14.4.4	CALCULATION	116
14.5	SIMULACE ENERGETICKÝCH TOKŮ V PRŮBĚHU ROKU	118
15	HODNOCENÍ	123
	ZÁVĚR	124
	POUŽITÉ ZDROJE	125
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ	128
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	129
	SEZNAM VÝKRESŮ	132
	SEZNAM PŘÍLOH	132
	PŘÍLOHY	133

ÚVOD

Obnovitelné a alternativní zdroje energie jsou velmi diskutovatelným tématem. Vzhledem ke klesajícímu množství neobnovitelných paliv a rostoucím nákladům za energii je tato forma finančních úspor vyhledávaným zdrojem. V posledních letech jde zejména o solární energii, která zaměstnává vládu, mnoho projektantů i spekulantů. Bohužel se obchodování se solární energií za posledních několik let vymklo kontrole. I přesto pro úsporu v domácnostech je tedy vhodné sluneční záření v co nejvyšší možné míře využít. Ať už pro výrobu elektrické energie, ohřev teplé vody, bazénové vody nebo podporu vytápění...

Cílem této diplomové práce je navrhnout pro konkrétní dům způsob využití solární energie a určit jeho efektivnost v dané lokalitě. K návrhu jsem použila jak teoretické výpočty, tak simulační programy a určila, který přístup výpočtu je nejvhodnější.

**A) ANALÝZA TÉMATU,
CÍLE A
METODY ŘEŠENÍ**

1 SLUNCE

Slunce se nachází v centru sluneční soustavy, jedná se o nejbližší hvězdu. Od Země je ve vzdálenosti 150 milionů kilometrů. I přes tuto vzdálenost na Zem dopadá $2 \cdot 10^{17} \text{ J}$ ^[32]. Z toho asi třetina se odrazí zpět do vesmíru. Část je pohlcena v Atmosféře a část je pohlcena a přeměněna na teplo povrchem Země. Na hranici atmosféry na plochu kolmou k slunečním paprskům dopadne $I (G_{sk}) = 1367 \text{ W/m}^2$ (jde o solární konstantu). Slunce nás tedy zásobuje energií přesahující více než 5000krát energetické potřeby lidstva. Záření však dále rozdělujeme na přímé a difuzní (všesměrové, odražené od mraků). Intenzita je tedy ovlivněna lokalitou, stupněm znečištění atmosféry, orientací absorpčních ploch a také počasím v ročním období.

Slunce lze odhadnout na 5 miliard let staré a můžeme předpokládat, že bude existovat ještě dalších 5 až 10 miliard let. Patří mezi přírodní zdroje energie a je nevyčerpatelné z hlediska lidského bytí. Je nezbytným předpokladem pro všechny formy života na Zemi. Sluneční záření se dá využít mnoha způsoby (pasivní využití, absorbéry, tepelné solární systémy, fotovoltaika...).

Tradičním způsobem je využití pomocí vhodného architektonického a stavebního řešení budovy. Jde o tzv. solární architekturu, která však musí být zamýšlena již v počátečním návrhu budovy. Vybraná opatření pak mohou snížit spotřebu energie nejen na vytápění. Důležitým předpokladem je dbát na zachytávání tepelné sluneční energie během studených měsíců a v letním období zase dát důraz na zabránění přehřívání interiéru. Nejvyšší teplota v obytné místnosti v létě bez strojního chlazení má být maximálně 27°C .

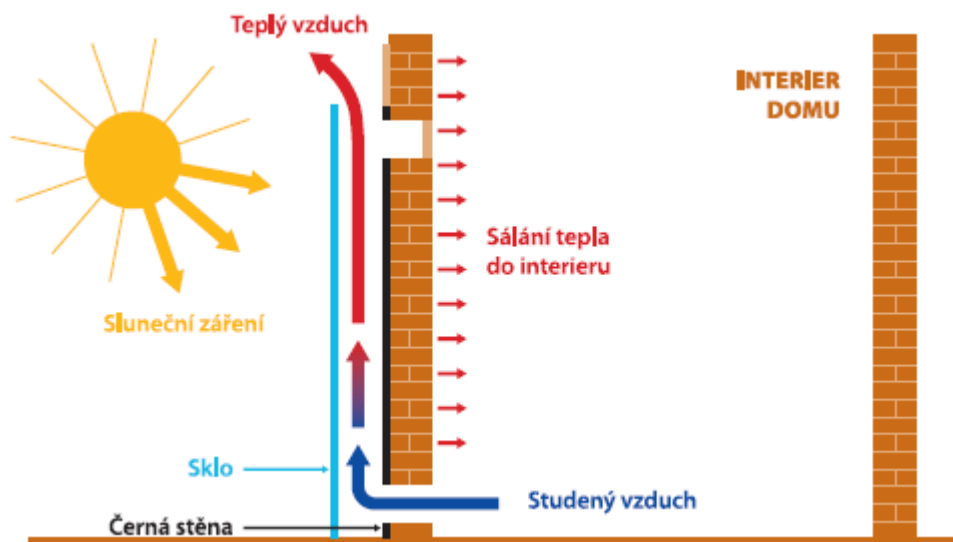
Příkladem může být tzv. Sokratův dům. Jde o dům s přímým využitím sluneční energie, který má lichoběžníkový tvar. Jižní fasáda je největší a zároveň je vyvýšená. Pultová střecha umožňuje slunečním paprskům v zimním období dostat se do interiéru, naopak střecha v létě vytváří vhodný stínící prostředek a zabraňuje nadměrnému přehřívání vnitřních prostorů. U severní stěny, která je nejchladnější, je skladovací prostor.



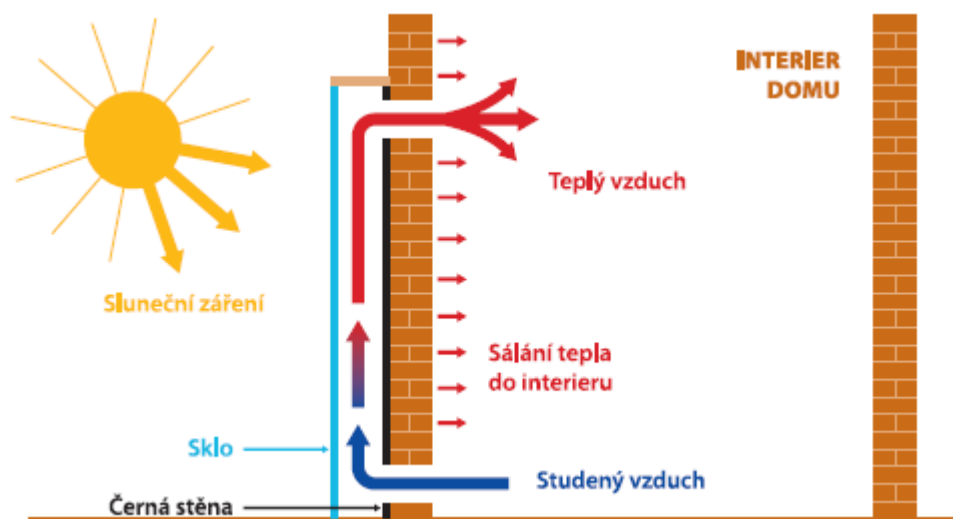
Obr. 1.: Sokratův dům ^[44]

1. letní slunce
2. zimní slunce
3. terasa (ochranná zóna z jihu)
4. obytný prostor
5. skladovací prostor (tepelná ochranná zóna ze severu)

Dalším vhodným využitím slunečních paprsků je pomocí Trombeho stěny. Skládá se z několika vrstev. Základem je nosná stěna, z materiálu s velmi dobrými akumulacími schopnostmi, natřená černou barvou, která přitahuje sluneční paprsky. Ve vzdálenosti cca 10 cm je skleněná stěna a ve vzniklém prostoru se ohřívá vzduch (podobně jako ve skleníku). V zimních měsících, kdy je teplota ve vzduchové mezeře vyšší než teplota v domě, můžeme pomocí otvorů ve stěně (průduchů u podlahy a stropu) a ventilátoru, vzduchem ohřívat budovu. Naopak v létě můžeme stěnu využít k ochlazení budovy (pokud je zpřístupněno proudění chladného vzduchu např. ze sklepa).



Obr. 2.: Trombeho stěna - léto ^[37]



Obr. 3.: Trombeho stěna - zima ^[37]

V dnešní podobě stěny můžeme přirovnat ke vzduchovému akumulacímu kolektoru. Vedle Trombeho stěny jako velký solární kolektor může fungovat i zimní zahrada nebo prosklená lodžie. I malé navýšení vnitřní teploty v zimních měsících může vést k úspoře energie na vytápění v desítkách procent (podmíněno stavem budovy, zejména vzduchotěsností, úrovní izolace, ale i typem vytápění).

2 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ V PRAXI

Solární systémy můžeme dělit dle základního pravidla, způsobu využití sluneční energie, na dva druhy:

- a) fotovoltaické systémy - přeměna na elektrickou energii
- b) fototermální (fototermické) systémy - přeměna na teplo

2.1 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy zaznamenaly v posledních letech značného rozmachu v podobě velkých solárních polí. Měly by být odolné vůči vlhkosti, vysokým teplotám (do 90 °C), nízkým teplotám (do -35 °C), kroupám i silnému větru. Celkový výkon lze navýšit natáčecím zařízením. I přesto, že tyto panely dokáží využít solární energii jen z 12 %, fotovoltaický (solární) článek vyrábí z dopadajícího slunečního záření stejnosměrný elektrický proud. Mezi dostupné typy článků patří amorfní, polykrystalické a monokrystalické. Rozdělení dle připojení na distribuční síť:

- a) on grid - připojení a dodávka el. energie do sítě
- b) off grid - tzv. ostrovní - výroba el. energie pouze pro vlastní spotřebu, bez připojení k síti
- c) hybridní - panely pracují v ostrovním režimu, ale při nedostatku je energie dodávána ze sítě



Obr. 4.: Fotovoltaické pole ^[35]

Dle mého názoru a vzhledem k rostoucímu počtu obyvatel se tyto stavební pozemky dají daleko lépe využít a panely lze umístit např. na střechy budov... Na druhou stranu se umísťování fotovoltaických panelů na obytné budovy podle masmédií nedoporučuje z důvodů možného vzniku požárů a nesnadného hašení. Avšak tyto spekulace nejsou pravdivé. Fotovoltaické instalace jsou příčinou jednoho požáru ročně na každých 50 000 instalací ^[16]. Nejčastějším důvodem požáru jsou především poruchy jednotlivých komponent, tedy nekvalitních součástek, nebo špatně odvedenou prací při instalaci systému (nedodržení základních elektrotechnických požadavků atd.).

2.2 Fototermální systémy

Oproti předchozímu typu tyto systémy dokáží využít až 60 % dopadající solární energie. Tato hodnota se však liší dle použitého typu kolektoru, způsobu využití atd.

1. Základní rozdělení systému:
 - a) pasivní - bez použití technického zařízení, např. solární stěna, skleník, okno - využívá se stavebních prvků
 - b) aktivní - k přenosu tepla je zapotřebí hnací zařízení, např. čerpadlo
2. Typ teplosnosného média:
 - a) kapalina - voda, nemrznoucí směs, propylenglykol
 - b) vzduch - předehřev
3. Velikost kolektorového pole:
 - a) Maloplošné - do 15 m²
 - b) velkoplošné
4. Provozní podmínky:
 - a) low-flow (nízký průtok) - do 20 l/(h·m²), vhodné jsou stratifikační zásobníky, vyšší teplota kapaliny
 - b) high-flow (vysoký průtok) – 30 - 70 l/(h·m²), standart pro RD
 - c) matched-flow (proměnlivý průtok) - vyžaduje náročný systém regulační techniky
 - d) drain-back (systém zpětného odvodnění) - při nečinnosti čerpadel zůstává kolektor prázdný, je potřeba záchytná nádrž
5. Typ oběhu:
 - a) uzavřený s nuceným oběhem
 - b) uzavřený samotížný
 - c) s vyprazdňováním
6. Umístění kolektorového pole:
 - a) střecha šikmá - na krytinu, nebo integrací do střechy
 - b) střecha plochá
 - c) fasáda - možnost integrace do obálky budovy (zateplovací systém)
 - d) zábradlí balkonů - vhodné u bytových domů
 - e) stínící prvek výplně otvorů
 - f) terén



Obr. 5.: Umístění kolektorového pole ^[41]

7. Období provozu:
 - a) sezónní - využíván pouze v období největšího slunečního svitu např. pro ohřev bazénové vody
 - b) celoroční

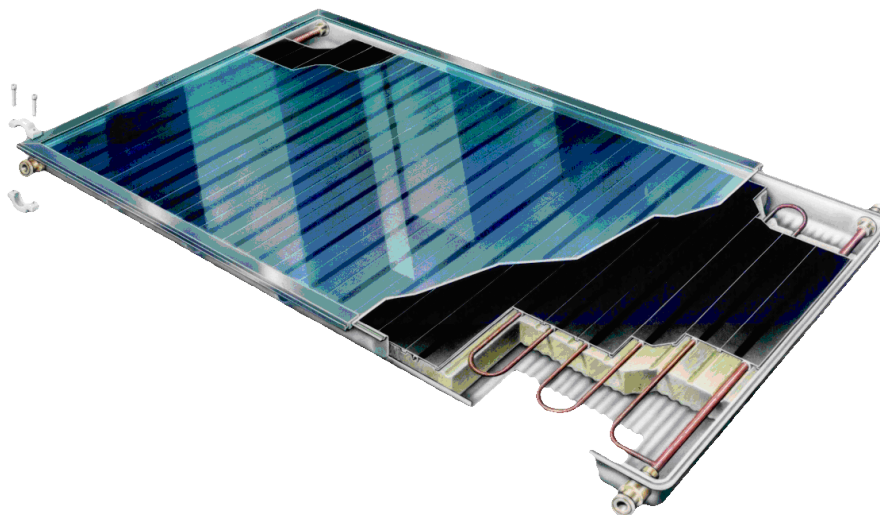
2.2.1 Typy solárních kolektorů

Kolektor je zařízení, které patří do aktivního solárního systému. Přeměňuje pohlcené sluneční záření na citelné teplo, které je pak předáváno teplotně nosné látce. Kapalina tuto energii dále dopravuje k výměníku pro další využití. Rozdělení dle:

1. konstrukce: ploché, trubkové, koncentrační
2. zasklení: bez zasklení, jednoduché, vícevrstvé
3. typ absorbéru: plastový, kovový, selektivní, neselektivní, akumulací
4. tlak výplně: atmosférický, vakuový
5. odvod tepla: přímo protékající trubkový registr (U-trubka, trubka v trubce), tepelná trubice

Způsob provedení kolektoru ovlivňuje jeho účinnost i jeho životnost. U kvalitního kolektoru se životnost může pohybovat mezi 25 a 30 lety. Snahou výrobců je vždy co nejvyšší absorpce a nejmenší ztráta do okolí (neboli emisivita). V praxi se pak můžeme setkat nejčastěji např. s plochými atmosférickými selektivními kolektory, nebo trubkovými vakuovými kolektory. Můžeme také vidět nezasklené kolektory ve formě bazénových rohoží, které však výrazně závisí na okolních podmínkách (teplota, proudění vzduchu) atd.

Plochý solární kolektor se skládá z rámu kolektoru, absorbéru, trubky s teplotně nosnou látkou, tepelné izolace, ze zasklení a zadního krytu.



Obr. 6.: Řez plochého kolektoru [33]

U vakuovaných kolektorů se místo tepelněizolační výplně využívá vakua. Vakuum snižuje ztráty a zvyšuje účinnost v chladných měsících. Tzv. Sydney trubka je použita ve dvojstěnném trubkovém vakuovém kolektoru. Vakuum je v meziprostoru mezi vnější a vnitřní trubkou se selektivním povrchem. Kvalitní selektivní vrstva (nitrid hliníku) zajišťuje vysokou pohltivost slunečního záření (až 95 %) a nízkou emisivitu (pouze 3 – 5 %) absorpční plochy a tedy malé tepelné ztráty zářením z absorbéru.

2.2.2 Koncentrační kolektory

Mezi zajímavější typy patří soustředující koncentrační kolektory, pomocí kterých sluneční záření směřuje pouze do jednoho místa. Dochází k soustředění paprsků z velké plochy do plošky co nejmenší. V tomto místě vzniká vysoká teplota. Pokud k tomu přidáme i systém natáčení, sledující „pohyb“ slunce po obloze, dosahují kolektory vysokých provozních teplot i při proměnlivém počasí. Ke koncentraci využívají lom světla (parabolický reflektor, Winstonův kolektor, kolektor s Fresnelovou čočkou), nebo odraz (paraboloidní reflektor, fasetové reflektory, heliostaty).

Parabolické kolektory využívá i jedna z největších solárních elektráren na světě: Shams 1 (o výkonu 100 MW) umístěná ve Spojených Arabských Emirátech. Teplonosná látka tekoucí přes přijímač, nese teplo do parního generátoru, kde je voda převedena do přehřáté páry. K výrobě elektrické energie může být použito i médium jako je vodní pára. Turbíny dají elektrický generátor do pohybu. Účinnost systému závisí na schopnosti solárních kolektorů soustředit co nejvíce dopadající sluneční energie.



Obr. 7.: Shams 1 [40]

Shams 1 využívá žlabové sběrače (dochází k ohřevu pracovní kapaliny - oleje až na několik stovek stupňů celsia). Dalšími typy může být deskový sběrač, nebo heliostaty. Heliostaty je skupina několika vhodně umístěných natáčivých rovinných zrcadel, z nichž se sluneční paprsky soustřeďují na ohnisko absorberu. Zde je umístěn parní generátor. Mezi vhodné absorbery patří sluneční pece nebo věžové sluneční elektrárny.

Zajímavý způsob využití solární energie je pomocí komínové sluneční elektrárny založený na skleníkovém efektu. Sluneční paprsky ohřívají vzduch pod skleněnou deskou a ten pak stoupá komínem vzhůru. Cestou roztáčí vrtule větrných turbín v patě válcovité věže a zařízení vyrábí energii. Uvolňuje ji do elektrické rozvodné sítě. Horký vzduch se může pohybovat věží rychlostí až 55 km/hod. Čím vyšší komín, tím vyšší účinnost.

Tyto systémy můžeme především objevit v tropických a subtropických oblastech, kde sluneční záření dosahuje nejvyšší intenzity. Jedna se zejména o oblasti Itálie, Španělska, Ameriky, Austrálie a zejména v oblastech pouští v Africe. Tyto systémy mají jednu velkou nevýhodu a to složitost, cenovou nedostupnost a s tím spojené náklady na provoz.

3 ZAPOJENÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV

Existuje velké množství kombinací zapojení, ale návrh solární soustavy vždy vyplývá z daných požadavků zadavatele. Dále je pak na projektantovi vybrat nejlepší variantu pro danou situaci. Rozhodujícím je způsob využití solárních kolektorů:

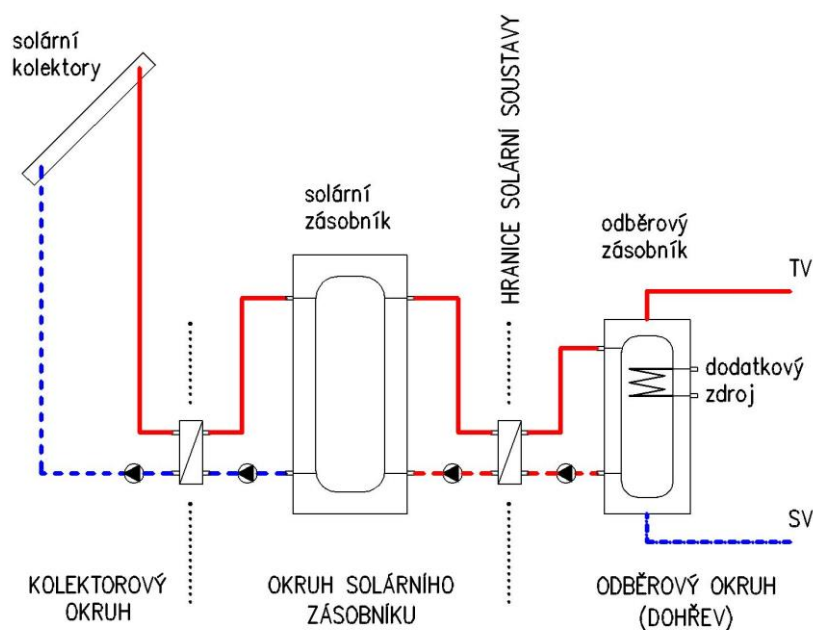
- a) ohřev teplé vody
- b) ohřev bazénové vody
- c) podpora vytápění a ohřev vody
- d) kombinace
- e) chlazení a klimatizace

Dle velikosti a danou rychlost průtoku jednotlivými kolektory vybíráme ze dvou způsobů zapojení (spojení do větších celků - kolektorové pole):

- a) Sériové - kolektory zapojujeme za sebou a vytváříme soustavy s nízkým průtokem a vyšší výstupní teplotou. Se vzrůstající teplotou však současně klesá účinnost kolektorů. Každý kolektor má stejný průtok kapaliny. Hydraulické odpory jednotlivých kolektorů se sčítají, takže celková tlaková ztráta celé potrubní větve je velká.
- b) Paralelní - zapojení vedle sebe. Soustavy s vyšším průtokem. Při paralelním řazení pracují všechny kolektory při stejné teplotě, a proto i při stejné účinnosti. Tepelný výpočet celého kolektorového pole je stejný jako u jednotlivých kolektorů.
- c) Sérioparalelní - série o stejném počtu článků spojíme paralelně. Podmínkou je mít všechny série stejné.

Solární soustavy můžeme rozdělit na dva okruhy:

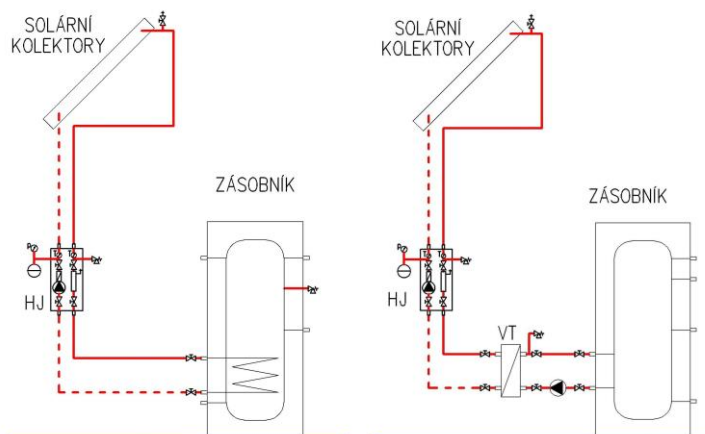
- 1. primární = solární okruh - kolektorový okruh a okruh solárního zásobníku
- 2. sekundární = odběrový okruh - dodatkový zdroj tepla, odběr tepla



Obr. 8.: Zjednodušené schéma solární soustavy ^[11]

3.1 Druhy zapojení

Nejjednodušším propojením solárního kolektoru a zásobníku pro maloplošné soustavy je pomocí vestavěného výměníku v akumulční nádrži. Pro větší kolektorové pole je ale zapotřebí externí výměník, nejčastěji se využívá deskový.



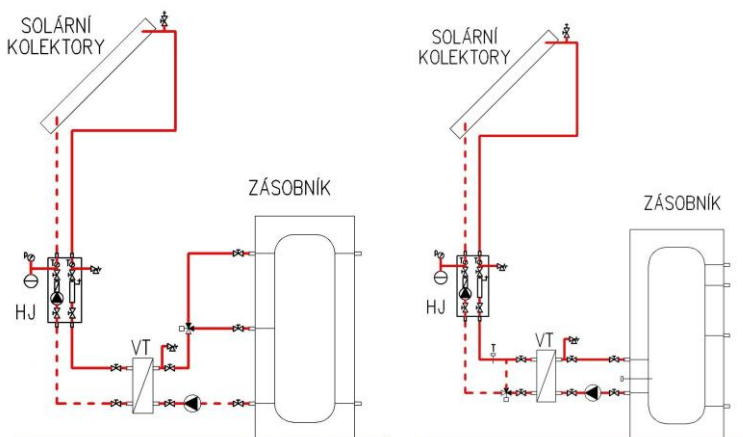
Obr. 9.: Výměník - a) vestavěný, b) externí [42]

3.2 Druhy zásobníků

Zásobníky slouží k uchovávání tepelných zisků solární soustavy. Především z důvodu nestálého přísunu sluneční energie a nepravidelné spotřeby tepla během dne i roku. Opět máme na výběr velké množství druhů. Liší se nejen velikostí (objemem), principem akumulace tepla, její hustotou (množství tepla naakumulovaného v 1 m^3) a účinností (poměr mezi energií odebrané a dodané), ale i způsobem zapojení odběru tepla. Dalším rozdělením je na tlakové a beztlakové (velkoobjemové) zásobníky.

Pro kapalinové solární soustavy se nejvíce používají vodní zásobníky. Voda není toxická, je levná, snadno dostupná a má vysokou tepelnou kapacitu.

Vhodným typem jsou tzv. stratifikační zásobníky, které jsou schopny rozvrstvit svůj objem podle teploty teplotnosného média. Většinou se jedná o zásobník se dvěma vstupy. V horní části se ukládá teplota vyšší a je tedy k dispozici v průběhu celého nabíjení. U vyšších štíhlých zásobníků můžeme použít stratifikaci přirozenou (samočinné trubkové vestavby pracují na základě rozdílu hustot). Náročnější na komponenty je pak stratifikace nucená. Obsahuje ventily, které dle teploty otevírají cestu do určité vrstvy.



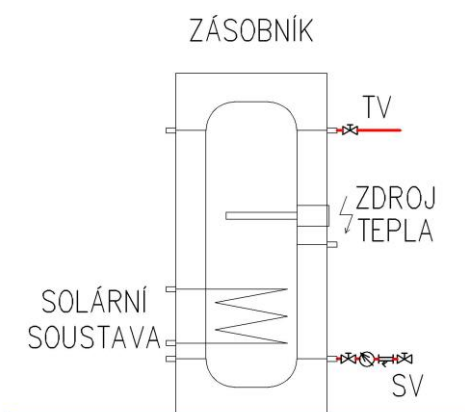
Obr. 10.: Stratifikační zásobník a trojcestný ventil [42]

Pro spolehlivou a dlouhodobou bezporuchovou činnost solárního systému je vhodné použít uzavřený solární systém s nepřímým ohřevem. Před zásobník nebo před deskový výměník je vhodné vždy umístit trojcestný ventil, jako ochranu před případným podchlazením akumulčního zásobníku nebo zamrznutí deskového výměníku. V případě celoročního využití systému by měla být v kolektorech a v solárním okruhu nemrznoucí teplotonosná kapalina.

Základní rozdělení zásobníků je na základě využití dané soustavy. Dle typu zásobníku se také odvíjí způsob zapojení odběru tepla.

Zásobníky teplé vody

Nejjednodušším zapojením odběru teplé vody je pomocí zásobníku, ve kterém je přímo pitná voda ohřívána jedním topným hadem z kolektorového okruhu. Teplo je tedy naakumulované přímo do pitné vody. Vnitřní strana zásobníku musí vyhovovat hygienickým předpisům.



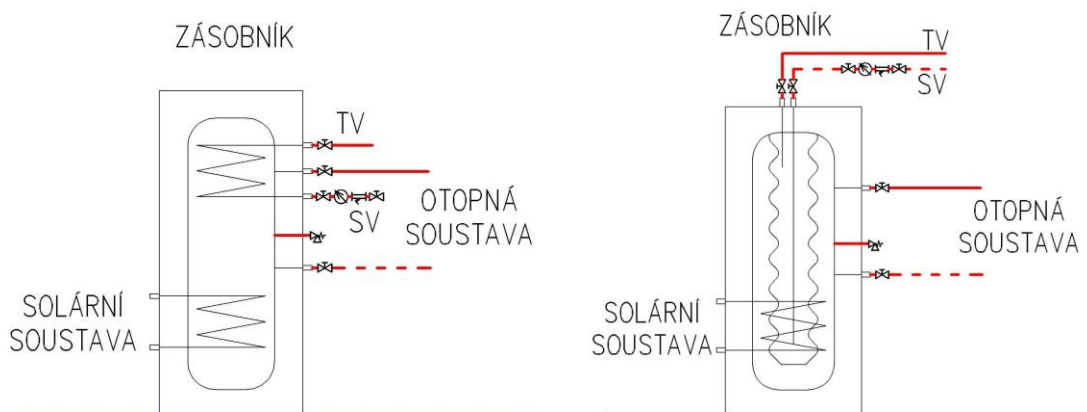
Obr. 11.: Zásobník teplé vody [42]

Zásobníky otopné vody

Tyto zásobníky se využívají především v soustavách s výrazně odlišnou požadovanou teplotou otopné vody od pitné vody, nebo v kombinovaných soustavách pro přípravu teplé vody a vytápění. Opět se používá jedna vestavěná teplosměnná plocha, nebo externí teplosměnná plocha (průtokovým způsobem v deskovém výměníku).

Zásobníky kombinované

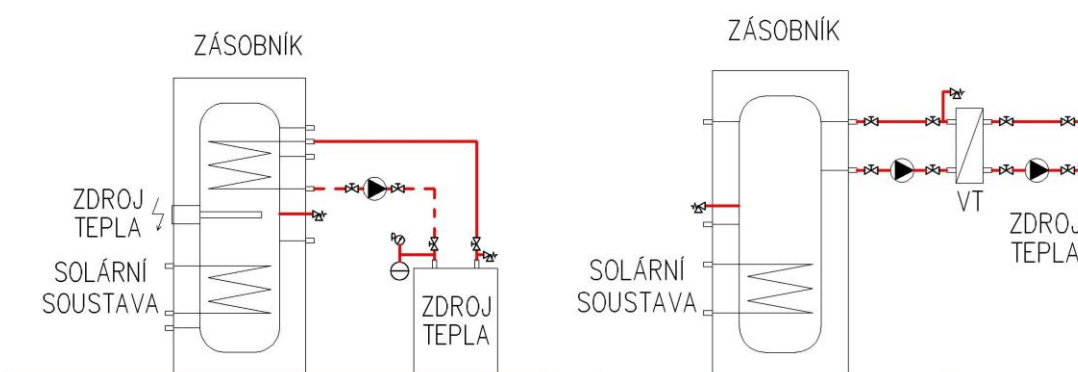
V kombinovaných soustavách pro přípravu teplé vody a vytápění dva samostatné zásobníky zabírají mnoho místa. Elegantním řešením je tedy kombinovaný typ zásobníku. Při menších odběrech teplé vody lze využít tzv. zásobníky nádrží v nádrži.



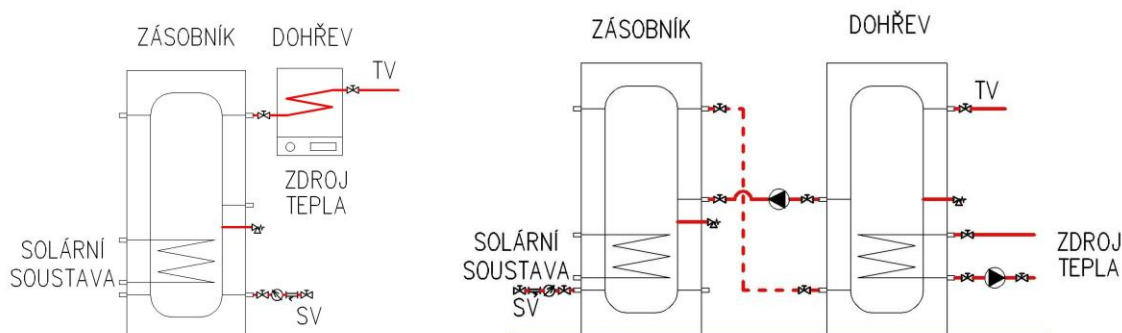
Obr. 12.: Kombinovaný zásobník a „nádrž v nádrži“ [42]

3.3 Dodatekový zdroj tepla

V případech nedostatečného solárního ohřevu se využívá vestavěný dodatekový zdroj tepla (bivalentní zásobník). Solární zásobník může sloužit také jako přehřívací a jako dohřev pak využíváme externí zdroj tepla. Dodatečným zdrojem tepla u RD a menších bytových domů může být elektrická topná vložka, další otopná spirála (např. od plynového kotle), nebo výměník (popř. další zásobník) u větších soustav. Průtokový ohřev musí mít plynulou regulaci výkonu z důvodu zamezení možnosti přehřátí vody (do ohřevu vstupuje již ohřátá voda ze zásobníku).



Obr. 13.: Vestavěný zdroj tepla [42]



Obr. 14.: Dodatekový zdroj tepla [42]

4 NORMOVÉ A LEGISLATIVNÍ PODKLADY

Výpočty, návrh systému a jednotlivých komponent vychází jak ze zkušeností, tak z technických norem. Technické normy jsou kvalifikované předpisy, které definují důležité parametry či vlastnosti materiálu, nebo pracovního postupu, nejsou však obecně závazné. Ale stanovují základní požadavky na kvalitu, bezpečnost, zaměnitelnost výrobků, ochranu zdraví a životního prostředí. Platnost technických norem:

- Mezinárodní normy – světové ISO, evropské EN
- Národní normy – ČSN, DIN, NF, PN, UNI, NEN
- Podnikové normy – jednotliví výrobci

Světové a evropské normy platí přes hranice jednotlivých států. V současné době je mnoho českých norem přejímaných z mezinárodních (označení ČSN EN, ČSN ISO, ČSN EN ISO...). Tvorbu a úpravu českých technických norem zajišťuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Obdobně je tomu i v Holandsku. Zde spravuje normy Nizozemský normalizační institut NEN (dříve NNI). Pro normy pocházející z evropských, je označení např. NEN-EN, NEN-ISO...

Mezi stavební normy ^[20] v Nizozemském království patří např.:

- BS 6700:1991 en - Technické zásady pro stavební konstrukce - TGB 1990 - Základní požadavky
- BS 2535:2009 / C1 :2010-06 en - Požární bezpečnost staveb - Systémy požární signalizace - systém a kvalitní pokyny a projekce
- NEN 7120+C2:2012 nl – Energetická náročnost budov – Výpočtová metoda

Protože velké množství norem je již sjednoceno (jak pro Českou republiku, tak pro Nizozemské království) dle norem evropských, rozhodla jsem se provést návrh solárního systému dle postupu využívající se v České republice. Veškeré normy jsou však dostupné pouze za poplatek.

Mezi tyto normy patří např.:

- ČSN EN 12975-1,2 - Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory
- ČSN EN 12976-1,2 – Tepelné solární soustavy a součásti - Soustavy průmyslově vyráběné
- ČSN EN 12977-1,2,3,4,5, - Tepelné solární soustavy a součásti - Soustavy stavěné na zakázku
- TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup
- ČSN EN ISO 9488 - Solární energie – Slovník (účinnost 1. 1. 2014)

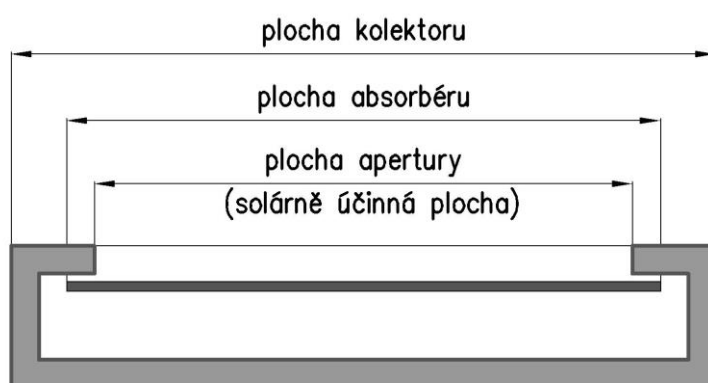
5 NÁVRH SOLÁRNÍCH SOUSTAV

Solární systémy obsahují mnoho komponent. Na každou z těchto součástí je kladem důraz na úroveň provedení a kvalitu. Je tedy potřeba provést před samotnou realizací důkladnou analýzu řešení. Řešení se jeví hned několik. Mohou být teoretická, nebo vycházející z experimentů. Neopomenout se také nesmí v dnešní době hojně používané řešení využívající výpočetní techniku a modelování. Velmi snadno si pak dokážeme představit následný chod a provoz systému.

5.1 Teoretické řešení

Návrh solární soustavy vyplývá z celkové potřeby tepla, kterou má solární soustava pokrýt, efektivitu a energetické charakteristiky soustavy. Mezi další parametry návrhu patří skutečně využitelné tepelné zisky v kWh/rok nebo GJ/rok, se zohledněním tepelných ztrát (rozvodu potrubí, solárního zásobníku).

Ekonomickým parametrem jsou pak celkové roční zisky vztahované k instalované účinné ploše solárního kolektoru (přesněji k ploše apertury) v kWh/(m²·rok). V porovnání s investičními náklady na pořízení solární soustavy můžeme zjistit zisk (lépe řečeno úsporu) z 1 m² instalované plochy a následně dobu návratnosti investice.



Obr. 15.: Plocha kolektoru ^[39]

5.1.1 Účinnost solárních kolektorů

Účinnost kolektorů mimo komponentů, provedení montáže, tepelných ztrát, celkové plochy, ovlivňuje i orientace a sklon. Neméně pak i lokalita a dané klimatické podmínky, které mění úroveň dopadající sluneční energie.

Rovnice účinnosti (A. 1. ^[11]) se dá napsat jako poměr tepelného výkonu odváděného teplonosnou látkou z kolektoru k příkonu (sluneční záření dopadající na kolektor).

$$\eta_k = \frac{Q_k}{Q_x} = \frac{M * c * (t_{k2} - t_{k1})}{G * A_k} \quad (\text{A. 1.})$$

- M ... hmotnostní průtok teplonosné kapaliny solárním kolektorem [kg/s]
- C ... měrná tepelná kapacita teplonosné kapaliny [J/(kg·K)]
- t_{k1} ... teplota teplonosné kapaliny na vstupu do kolektoru [°C]
- t_{k2} ... teplota teplonosné kapaliny na výstupu z kolektoru [°C]
- G ... střední hodnota slunečního ozáření dle sklonu a orientace [W/m²]
- A_k ... vztažná plocha kolektoru, obvykle plocha apertury kolektoru, [m²]

Pro návrh a hodnocení kolektorů se používají hodnoty získané experimentálními zkouškami tepelného výkonu kolektoru. Proložením těchto experimentálně zjištěných bodů účinnosti regresní křivkou 2. řádu (parabolou) získáme průběh účinnosti v závislosti na středním redukovaném teplotním spádu v závislosti na teplotě okolí ^[11].

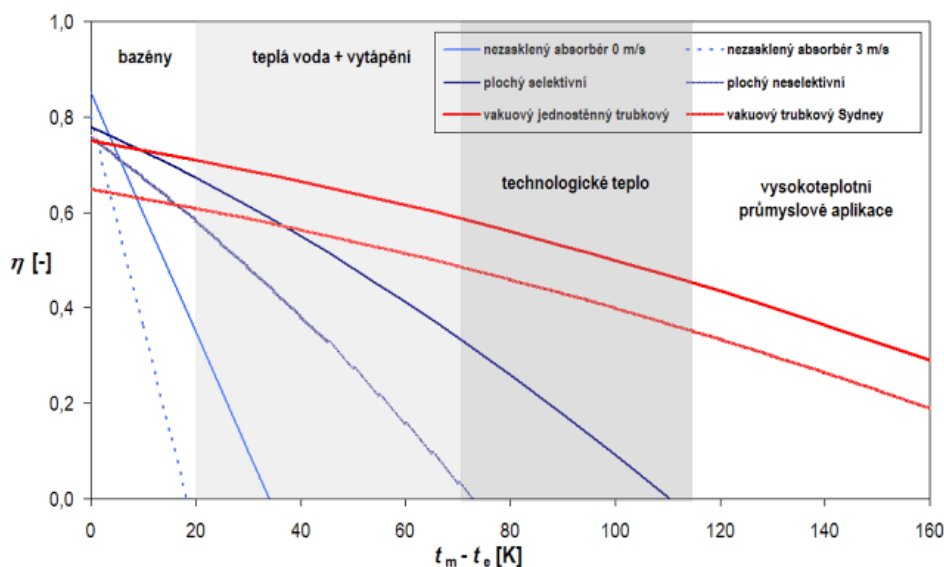
$$\eta_k = \eta_0 - U_1 * \frac{(t_m - t_e)}{G} - U_2 * \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (\text{A. 2.})$$

- η_0 ... optická účinnost, vyjadřuje účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách [-]
... vypočítá se jako součin propustnosti zasklení τ [-] a pohltivosti absorberu α [-]
- U_1 ... lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru (analogie součinitele prostupu tepla) [W/(m²·K)]
- U_2 ... je kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje zvýšení tepelných ztrát vlivem sálání, hodnota je závislá na rozdílu čtvrtých mocnin teplot) [W/(m²·K²)]
- t_m ... střední teplota teplotnosné látky v kolektoru (průměr teplot na vstupu a výstupu z kolektoru) [°C]
- t_e ... průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu [°C]

Hodnoty U_1 , U_2 a η_0 udává výrobce nebo dodavatel kolektoru. Průměrná teplota v solárních kolektorech t_m se pro předehřev TV pohybuje okolo 30 °C, pro přípravu TV okolo 40 °C a pro přípravu TV a současné podpory vytápění okolo 50 °C. Velmi výhodné je, pokud se ohřívá teplotnosná kapalina v absorberu na nízkou teplotu a je-li teplota okolního vzduchu co nejvyšší.

Výsledky se mohou značně lišit pro jednotlivé typy kolektorů. Křivky znázorňující tuto hodnotu bývá výrobcí udávána v závislosti na teplotním spádu mezi teplotnosnou látkou t_m a okolím t_e . Méně často k ploše (v závislosti na $(t_m - t_e)/G$). Na obr. 16. je zobrazena účinnost pro hodnotu slunečního ozáření 800 W/m².

Z jednoduchého porovnání křivek si můžeme snadno odvodit použití solárních kolektorů v daných případech. Velmi neúčinné by bylo využívat kolektory typu Sydney pro ohřev bazénové vody (dle následujícího grafu se ukazují jako méně účinné než daleko levnější nezasklené absorbéry). Pro přípravu teplé vody a jako podpora vytápění je velmi vhodné použít selektivní ploché kolektory (záleží vždy na konkrétním typu).



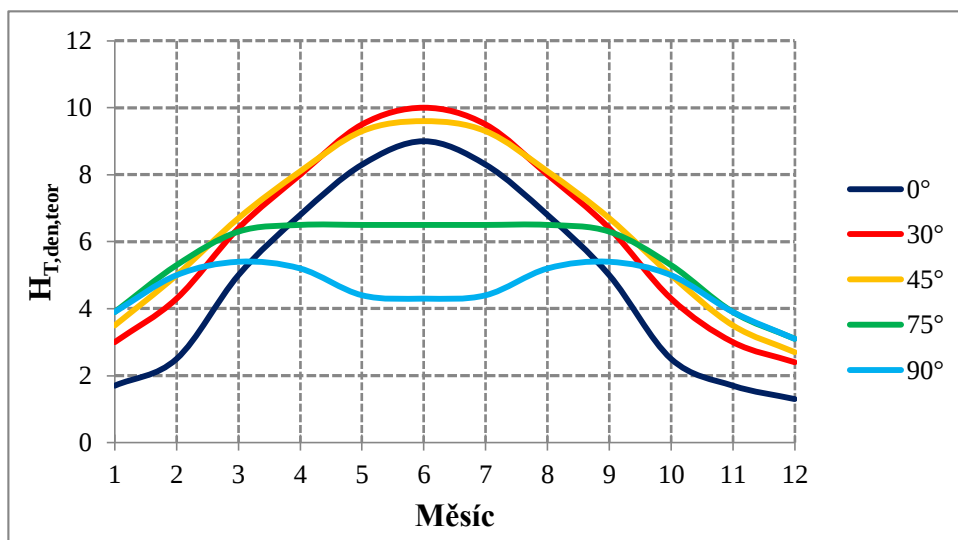
Obr. 16.: Křivky účinnosti různých druhů kolektorů ^[11]

5.1.2 Sklon kolektorů

Neméně důležitým faktem je umístění kolektorů, především i jejich sklon. Ideální sklon kolektorů je takový, aby dopadající sluneční paprsky byly vždy kolmo na danou plochu. Avšak výška Slunce se během dne a v průběhu roku mění, volba sklonu bude vždy kompromisem. Zvolení sklonu tedy především vychází z plánovaného využití systému.

Je důležité si předem určit, zda chceme, aby solární kolektory nejvíce pracovaly v období léta nebo po celý rok. Pokud chceme solární kolektory provozovat hlavně v létě tak volíme menší sklon $25^\circ - 35^\circ$ (slunce je vysoko nad obzorem). Pro sezónní zimní provoz volíme vyšší sklon $60^\circ - 90^\circ$ (slunce je nízko nad obzorem). Pro celoroční provoz kolektorů se doporučuje sklon cca 45° . Na severní polokouli je nejvhodnější otočení kolektorů směrem na jih.

Umístění fasádního kolektoru (90°) vede ke snížení roční dopadlé sluneční energie (dávky ozáření), ale na druhou stranu je relativně rovnoměrný a např. více odpovídá potřebě tepla na přípravu TV během roku. Oproti tomu u kolektorů se sklonem $30^\circ - 45^\circ$ profil ukazuje v průběhu roku velké rozdíly mezi letními špičkami a zimním obdobím.



Graf 1.: Profily teoreticky dopadlé sluneční energie na různě skloněné plochy v ČR [38]

5.1.3 Potřeba tepla

Mezi další důležité hodnoty pro návrh kolektorů je stanovení potřeby [21] tepla na přípravu teplé vody $Q_{TV,den}$ a potřebu tepla pro vytápění $Q_{vyt,den}$. Obě tyto veličiny udáváme v [kWh/den]. Díky tzv. kombinovaným solárním soustavám lze uplatnit solární soustavy pro přípravu vody do nízkoteplotních otopných soustav.

Můžeme vycházet z naměřených hodnot u daného stávajícího objektu poskytnuté uživatelem, nebo z hodnot získané výpočtem.

Potřebu teplé vody z velké části ovlivňují návyky uživatele. Také záleží na teplotě připravované vody. Standardem je teplota TV $55 - 60^\circ\text{C}$ (SV $10 - 15^\circ\text{C}$) a její potřeba na osobu a den je $40 - 50\text{ l}$ [2] (norma [1] udává $82\text{ l}/(\text{osobu} \cdot \text{den})$).

$$Q_{TV,den} = (1 + z) * \frac{V_{TV,den} * \rho * c * (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 * 10^6} \quad (\text{A. 3.})$$

z ... přírážka na tepelné ztráty při přípravě a provozu teplé vody
 $V_{TV,den}$... celkový potřebný denní objem TV dle počtu osob [m^3]

ρ ... hustota vody [kg/m³]
 c ... měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)]
 t_{TV} ... teplota teplé vody
 t_{SV} ... teplota studené vody

Potřebu tepla na vytápění ovlivňují především dva faktory. Jedním z nich je kvalita tepelně technických vlastností obálky budovy, druhým pak roční období. V přechodovém a v zimním období lze využít solární zisky jen částečně, proto pokrytí potřeby tepla v tomto období bývá často nedostačující. Obálku budovy však ovlivnit můžeme, a to ne z malé části. Tepelné ztráty prostupem je možné snížit zásadně. Např. výměnou nevyhovujících oken za okna s izolačními skly, ošetřením tepelných mostů, použití tepelných izolací. Ztráty větráním lze snížit např. použitím zařízení se zpětným získáváním tepla (ZZT).

Potřebu tepla pro vytápění lze vypočítat dle ČSN EN ISO 13 790 ^[4]. Jde o měsíční metodu se zahrnutím geometrie budovy, vlastností konstrukcí včetně okrajových podmínek definující provoz budovy (vnitřní zisky, větrání). Výpočet zahrnuje také zisky okny, vliv akumulace budovy nebo jiných nestandardních solárních prvků (Trombeho stěna,...).

5.1.4 Plocha kolektorů

Ze získaných hodnot ($Q_{TV,den}$, $Q_{vyt,den}$) lze stanovit potřebnou plochu solárních kolektorů. K výpočtu také potřebujeme znát jaká je denní dávka slunečního svitu na plochu dané orientace a sklonu $H_{t,den}$ [kWh/(m²·den)].

$$H_{T,den} = \tau_r * H_{T,den,teor} + (1 - \tau_r) * H_{T,den,dif} \quad (A. 4.)$$

τ_r ... poměrná doba slunečního svitu
 $H_{T,den,teor}$... teoretická dávka ozáření
 $H_{T,den,dif}$... teoretická dávka difuzního ozáření

$$q_k = \eta_k * H_{T,den} \quad (A. 5.)$$

q_k ... denní měrný tepelný zisk [kWh/(m²·den)]

Účinnost kolektoru i dávka ozáření je pro každý měsíc jiná, tedy i měrný tepelný zisk se bude lišit. Aperturní plocha solárních kolektorů A_k [m²] se tedy stanoví pro zvolené charakteristické období a pro daný plánovaný účel využití (příprava teplé vody nebo příprava teplé vody a podpora vytápění). V tomto období pak bude zajištěné pokrytí potřeby tepla Q energetickým ziskem z kolektoru q_k podle vztahu (A. 6.).

$$A_k = \frac{(1 + p) * Q}{q_k} \quad (A. 6.)$$

p ... ztráty solární soustavy [-] (dle velikosti pole a způsobu využití se může pohybovat v rozmezí 3 – 30 %)

Počet solárních kolektorů se stanoví prostým dělením vypočtené celkové plochy plochou jednoho konkrétního kolektoru a výsledek se zaokrouhlí na celé číslo.

$$P_k = \frac{A_k}{A_{1k}} \quad (A. 7.)$$

Pokud máme pouze malou soustavu (v řádu do 5 kolektorů), je třeba uvážit zaokrouhlování směrem nahoru (pokud máme zajištěno využití vzniklých přebytků) nebo dolů.

Skutečnou aperturní plochu vypočítáme vynásobením počtem nainstalovaných kolektorů a plochy jednoho kolektoru.

$$A_{kS} = A_{k1} * P_{ks} \quad (\text{A. 8.})$$

5.1.5 Tepelné zisky soustavy

Tepelné zisky solární soustavy Q_{ss} [kWh/rok, GJ/rok] stanovujeme nejlépe na hranici solární soustavy (za solárním zásobníkem) měřením u stávajících soustav, nebo výpočtem v navrhovaných soustavách. Pro jednoduchost se však zisky soustavy stanovují jako teplo Q_k dodané z kolektorového okruhu do solárního zásobníku. Solární zisky jsou mimo jiné závislé i na využitelnosti tepelných zisků.

Měsíční teoretický využitelný tepelný zisk kolektorové plochy se vypočítá dle rovnice (A. 9.).

$$Q_k = 0,9 * \eta_k * n * H_{T,den} * A_k * (1 - p) \quad (\text{A. 9.})$$

η_k ... účinnost kolektoru [-]

n ... počet dnů v měsíci

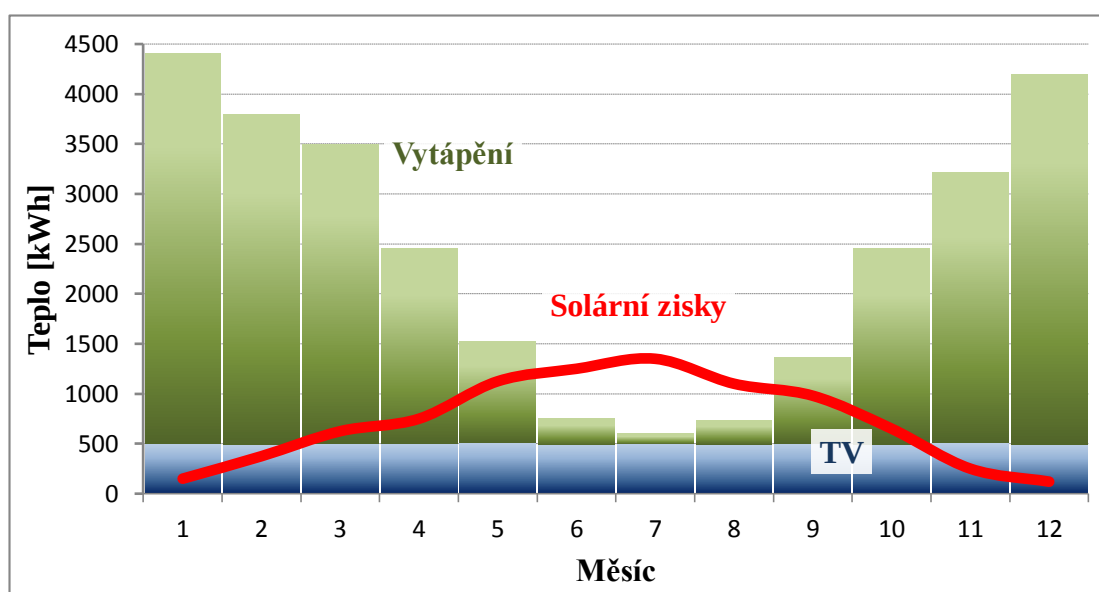
$H_{T,den}$... denní dávka slunečního svitu na plochu dané orientace a sklonu [kWh/(m²·den)]

A_k ... skutečná aperturní plocha solárních kolektorů [m²]

p ... ztráty solární soustavy [-]

Měsíční potřeby tepla pro přípravu teplé vody a pro vytápění se vypočítají jako denní potřeby vynásobením počtem příslušných dnů v měsíci.

$$\begin{aligned} Q_{TV,m\acute{e}s} &= n * Q_{TV,den} \\ Q_{vyt,m\acute{e}s} &= n * Q_{vyt,den} \end{aligned} \quad (\text{A. 10.})$$

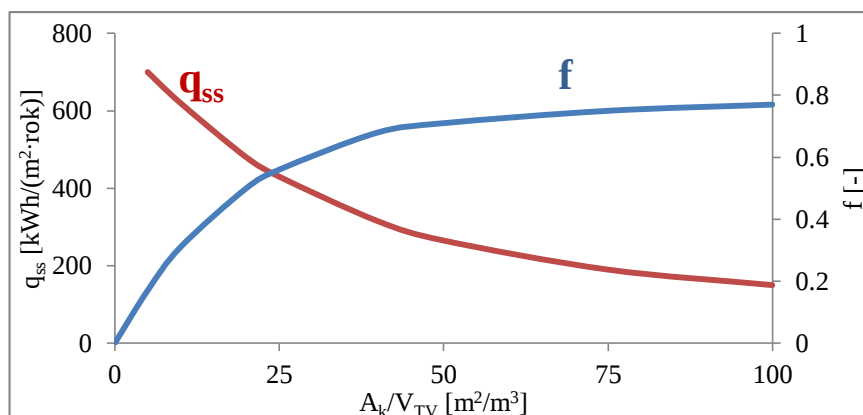


Graf 2.: Příklad energetické bilance ^[21]

Tepelné zisky solární soustavy jsou pak minimem z teoreticky využitelných zisků a celkové měsíční potřebě tepla. Tuto hodnotu stanovujeme pro každý měsíc zvlášť.

Součet těchto hodnot a vydělením celkovou roční potřebou tepla získáme solární pokrytí (solární podíl) v %. Solární pokrytí pro přípravu teplé vody se pohybuje okolo 60 - 70 %.

Obecně platí, pokud plochu solárních kolektorů příliš předimenzujeme, solární pokrytí potřeby tepla se dosáhne snadněji, ale ve výsledku jsou menší měrné zisky. Horší jsou i ekonomické parametry soustavy a řešit se musí zejména způsob využití získaného tepla v letních měsících (např. ohřevem bazénové vody nebo velkým akumulacním zásobníkem).



Graf 3.: Příklad závislosti solárního pokrytí a využitelných zisků na poměru instalované plochy ^[11]

5.1.6 Další prvky solárního okruhu

Mimo hlavní části solární soustavy jako je kolektor a zásobník jsou pro zajištění chodu zapotřebí i další prvky solárního okruhu:

- spojovací potrubí
- oběhové čerpadlo nebo ventilátor
- zabezpečovací zařízení
- zařízení pro automatickou regulaci (MaR)
- plnicí zařízení
- izolace a prvky nosné konstrukce

Pokud nevyužíváme gravitační systém (se samotížnou regulací) musí systém obsahovat oběhové čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci teplotnosného média.

Mezi zabezpečovací zařízení a regulaci patří: expanzní nádoba, pojistný ventil, automatický odvzdušňovací ventil (v nejvyšších místech), teploměr, manometr atd. U větších soustav i odlučovače plynu - flamcovent nebo spirovent (v místě s nejvyšší teplotou a nejnižším tlakem).

Volba regulačního zařízení závisí především na typu a velikosti systému, dále na požadované spolehlivosti a bezmála i na ceně zařízení. Automatická regulace především zajišťuje předávání tepla z kolektorů do zásobníku a zajišťuje, aby teplo neproudilo opačným směrem (zpětná klapka). Dále zabezpečuje systém proti překročení maximální teploty kapaliny v kolektorech. Také spíná doplňkový zdroj v době, kdy poklesne teplota zásobníku pod nastavenou hodnotu atp.

Izolace potrubí umístěné venku musí odolávat nejen vysoké teplotě v trubkách, ale i UV záření. Často se tedy používá izolace s hliníkovou fólií z vnější strany. Pro potrubí pak nepoužíváme plast, z důvodu velké tepelné roztažnosti. Lépe tedy použít nerez nebo levnější měď.

Často jsou všechny tyto prvky dodavatelskou firmou poskytovány a dodávány v sadách.

5.2 Výpočetní technika a modelování

Teoretické řešení je do značné míry zjednodušené. Při výpočtu často nejde o přesné stanovení přínosů, ale spíše o určení přibližných energetických zisků. Výpočty a návrh se zpravidla stanovují na základě měsíčních údajů o spotřebě tepla uživatele a klimatických podmínkách dané oblasti. Ovšem s ohledem na složitost a časovou náročnost podrobnějších a přesnějších výpočtů se toto řešení jeví pro projekční praxi vhodnější.

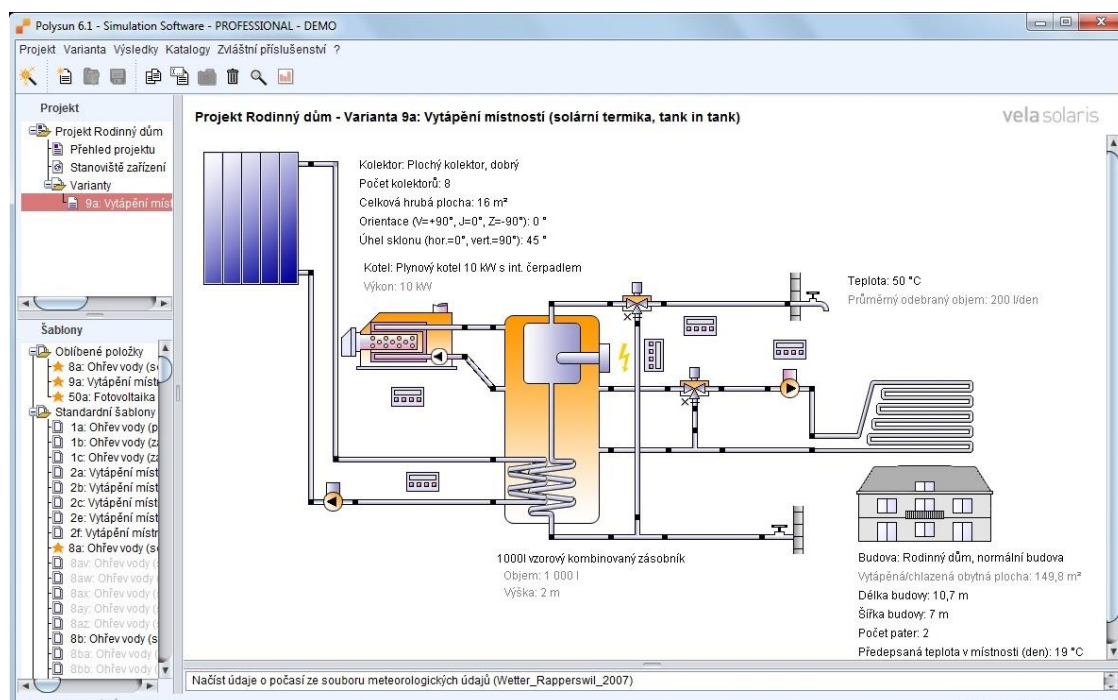
Pro zvládnutí pokročilých simulačních programů je třeba znát více informací o klimatických údajích z místa instalace včetně možného stínění. Dále podrobné parametry a vlastnosti solární soustavy, jejich prvků a hydraulického zapojení. Záleží také na způsobu provozu soustavy.

Díky počítačové simulaci můžeme odhalit možná rizika jako je přehřívání v letním období. Můžeme předběžně stanovit provozní chování solární soustavy a vliv kolektoru na budovu při různých okrajových podmínkách (vliv návrhu plochy a orientace kolektoru vzhledem k potřebě tepla, apod.).

Počítačové simulace využívají matematické modely, a existují dva typy. Buďto jsou tzv. systémové nebo modulární.

Systémové simulace využívají vlastní, předem definované, hydraulické systémy a parametry výpočtu. Ovšem z jisté části jsou tyto šablony omezeny (počtem možností). Mimo návrhu systému můžeme také zjistit ekonomické a ekologické dopady návrhu. Mezi dva nejpoužívanější programy tohoto typu patří Polysun a T*SOL.

Na rozdíl od toho modulární model musí uživatel schéma solární soustavy složit z jednotlivých nabízených komponent (kolektory, zásobníky, čerpadla, potrubí, regulace, výměníky, kotle, aj.) a sám nastavit potřebné parametry matematického výpočtu. Patří sem např. program TRNSYS.



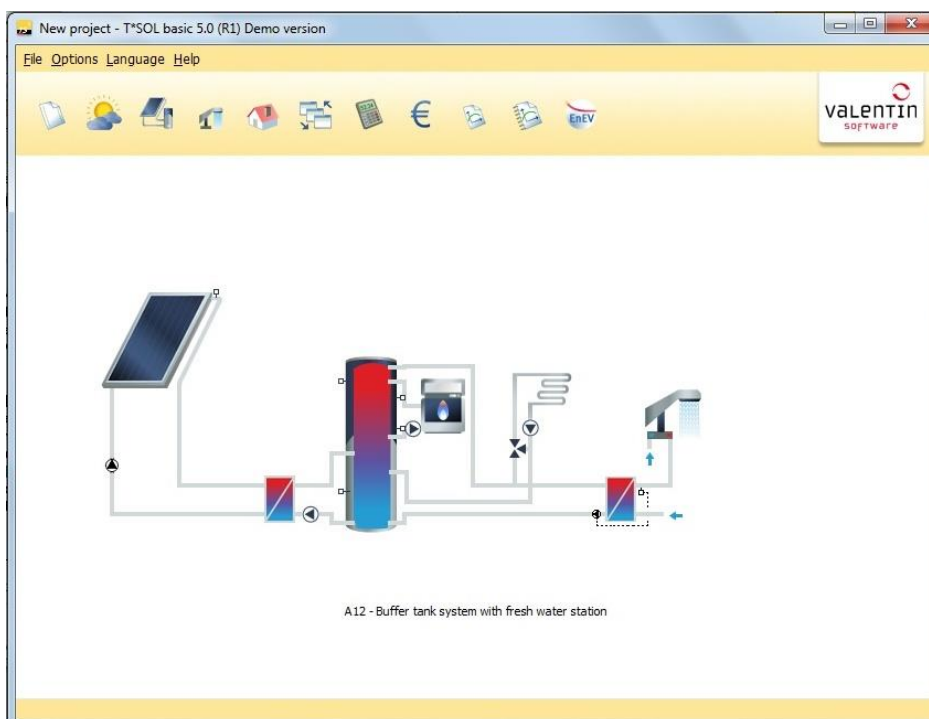
Obr. 17.: Příklad simulace v programu Polysun

5.2.1 Program Polysun

Program vznikl v roce 1992 v Institut für Solartechnik SPF Rapperswil ve Švýcarsku a od té doby je vyvíjen a vylepšován. Rozšířen je i mezi českými dodavateli solárních kolektorů a soustav. Můžeme vyzkoušet i v online verzi ^[29] a výsledky jsou nám posílány na námi zadaný e-mail. Má poměrně rozsáhlou databázi klimatických dat (cca 6300 lokalit z celého světa). Lze tedy přesně vybrat dané místo návrhu. Vybíráme z možností přípravy TV, vytápění, chlazení, ohřev bazénové vody, nebo kombinace pomocí solárních systémů, tepelných čerpadel. Zadáváme počet osob a potřebu TV, zda bude zapojena cirkulace, typ budovy, vnitřní návrhovou teplotu, dodatkový zdroj energie, typ kolektoru, velikost akumulční nádrže a mnoho dalších. Lze jej zdarma získat i v demo verzi. Jednotlivé komponenty, solární kolektory, byly vyzkoušeny v laboratořích a dané hodnoty pro návrh můžeme převzít z databáze nebo nadefinujeme vlastní.

5.2.2 Program T*SOL

Tento program je vyvíjen od roku 1993 v Dr. Valentin Energie Software GmbH (v Německu). Je k dispozici v několika variantách Basic, Pro a Expert, dle požadované úrovně simulace. Pro rychlý a jednoduchý návrh solárních systémů je vhodný T*SOL Basic. Lze vybrat z 20 předdefinovaných typů systémů pro ohřev TV a vytápění a 9 typů systémů pro bazény. Při použití PhotoPlan vytvoříme fotorealistické reprezentace budovy s nainstalovanými panely. Tento užitečný nástroj nám pomůže při výběru vhodného místa pro panely. Program vytvoří přesné grafiky výstupů, jako např. ekonomické předpovědi, snížení emisí CO₂ a spotřeby poptávky. Následující varianty T*SOL Pro a T*SOL Expert umožňují využít rozsáhlejší databáze prvků a lokalit, lépe prezentovat výsledky. T*sol Expert je vhodný také pro výzkumné a vědecké účely (zkoumání změn solárního systému, sledování a optimalizace součástí a uspořádání). Demo verze lze opět bezplatně získat na internetových stránkách společnosti The Solar Design Company ^[25].



Obr. 18.: Příklad simulace v programu T*SOL Basic

5.2.3 Program GetSolar

Tento program byl na trh uveden v roce 1993. Vznikl jako diplomová práce Dipl. Eng. Axel Horna na Technické univerzitě v Mnichově a opět patří mezi systémové programy.



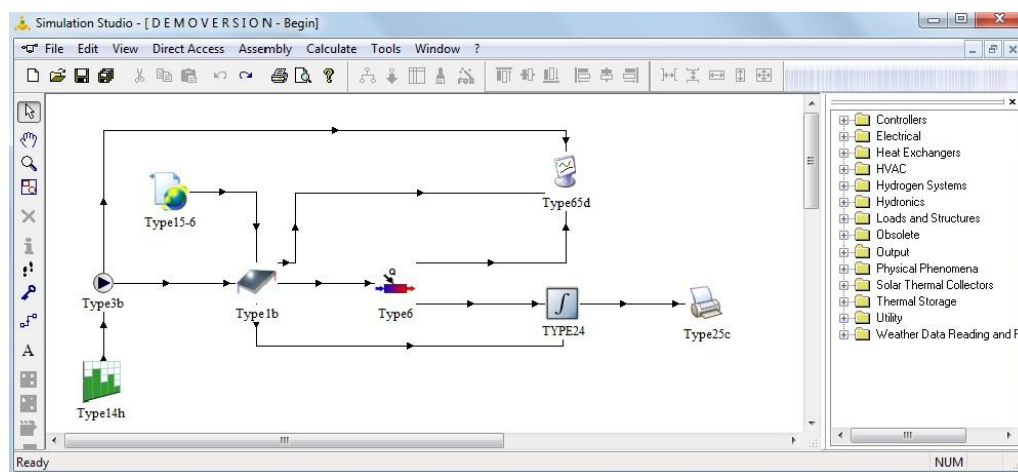
Obr. 19.: Příklad simulace v programu GetSolar [36]

5.2.4 Program TRNSYS

TRaNsient SYstem Simulation je simulační program, vyvíjený od roku 1974 na University of Wisconsin (v Madison, USA). Jde o komerční program [26], který se používá především v oblasti obnovitelných zdrojů energie, inženýrství a stavební simulace nízkoenergetických budov, pro pasivní i aktivní solární systémy, v oblasti elektráren (biomasa, kogenerace) i v oblasti zabývající se vodíkových systémů palivových článků. Software je využíván výzkumnými pracovníky a inženýry po celém světě, architekty i studenty.

TRNSYS se skládá ze dvou částí. První z nich je jádro, které zpracovává vstupní hodnoty. Druhá část je rozsáhlá knihovna komponentů. Standardní knihovna obsahuje přibližně 150 modelů. Modely jsou konstruovány tak, že uživatelé mohou měnit existující komponenty nebo vytvářet své vlastní. Vždy je třeba ke každému prvku zadat vstupní a výstupní hodnoty. Požadovaný energetický systém pak vytvoříme propojením jednotlivých prvků. Vzhledem k rozsáhlosti programu je pro uživatele náročnější a méně přístupný než předešlé typy systémových modelů

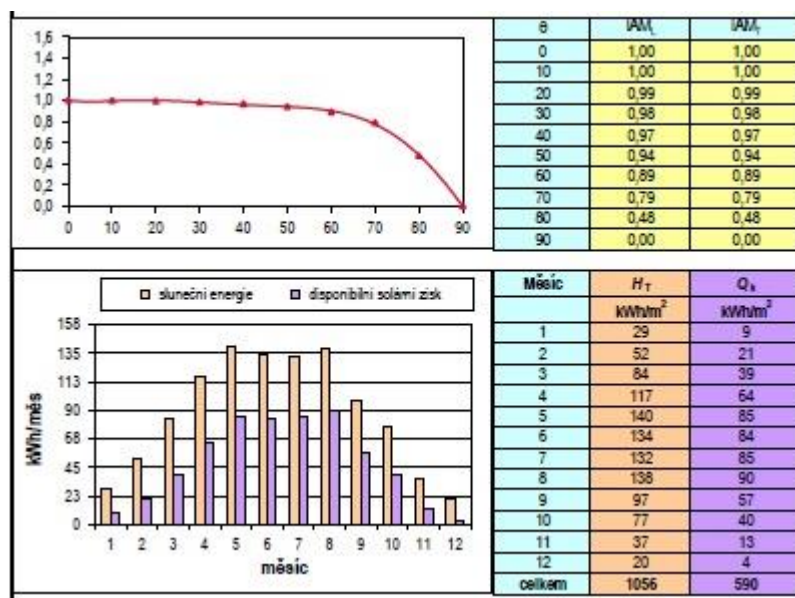
Výsledky simulace můžeme sledovat průběžně (proměnu při zadávání), nebo je zobrazíme v tabulkovém procesoru. Získáme tak dynamické chování systému, nebo komponent v daném časovém kroku, který si zvolíme. Využití tohoto programu je velké.



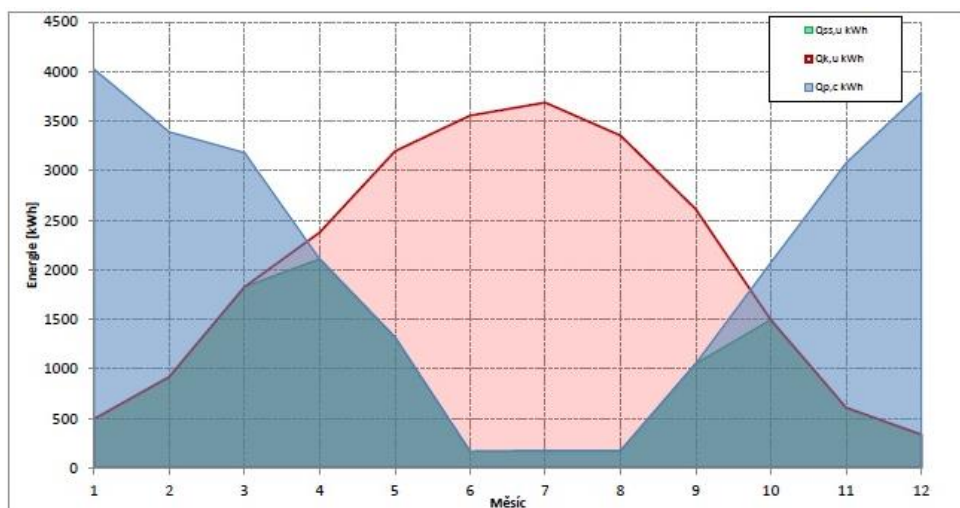
Obr. 20.: Příklad simulace v programu TRNSYS

5.2.5 Programy VYKON, BalanceSS

Mezi simulační programy vytvořené doc. Ing. Matuškou, Ph.D. patří např. programy VYKON a BalanceSS. VYKON je jednoduchý program pro komplexní hodnocení výkonnosti solárních tepelných kolektorů a BalanceSS je program pro zjednodušené energetické hodnocení solárních soustav v souladu s TNI 73 0302 [5]. Tyto programy jsou volně stažitelné [17]. Uvedené výpočtové programy jsou vytvořené v programu Microsoft Excel s použitím VBA.



Obr. 21.: Příklad simulace v programu VYKON



Obr. 22.: Příklad simulace v programu BalanceSS

B) APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

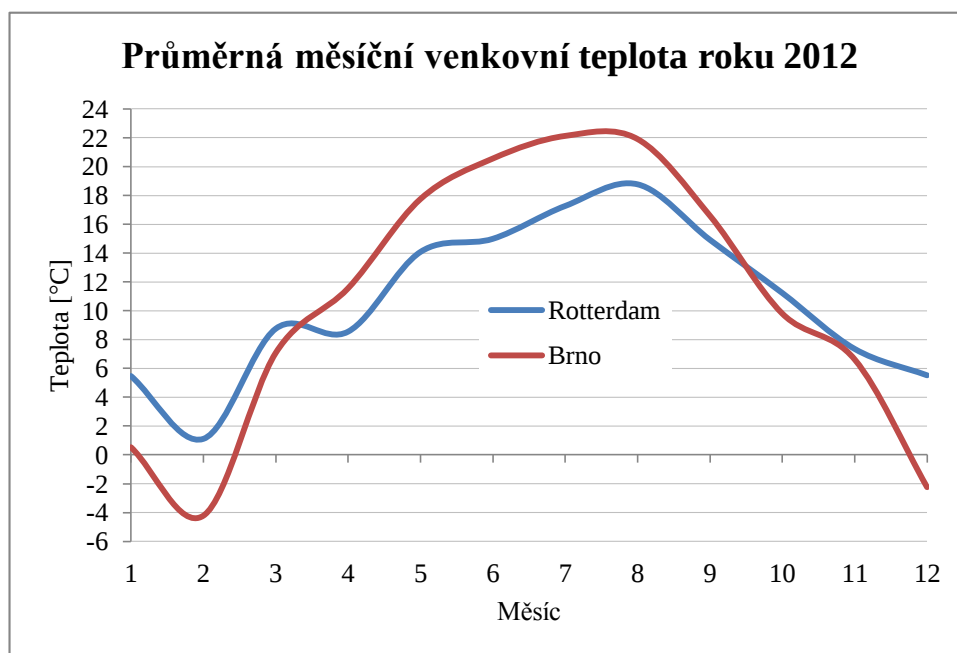
6 ANALÝZA OBLASTI

Tato práce se zabývá návrhem optimálního využití solární energie v rodinném domě. Rodinný dům se nachází ve městě Rhoon, na severní polokouli v Evropě, 11 km jihozápadně od Rotterdamu v Nizozemském království. Přesněji jeho zeměpisná šířka činí $51^{\circ}51'$ severně a zeměpisná délka $4^{\circ}25'$ východně. Nachází se ve stejném časovém pásmu jako Česká Republika (tzn. Středoevropský čas UTC+1hod.). Nadmořská výška je pouze do 1 m.



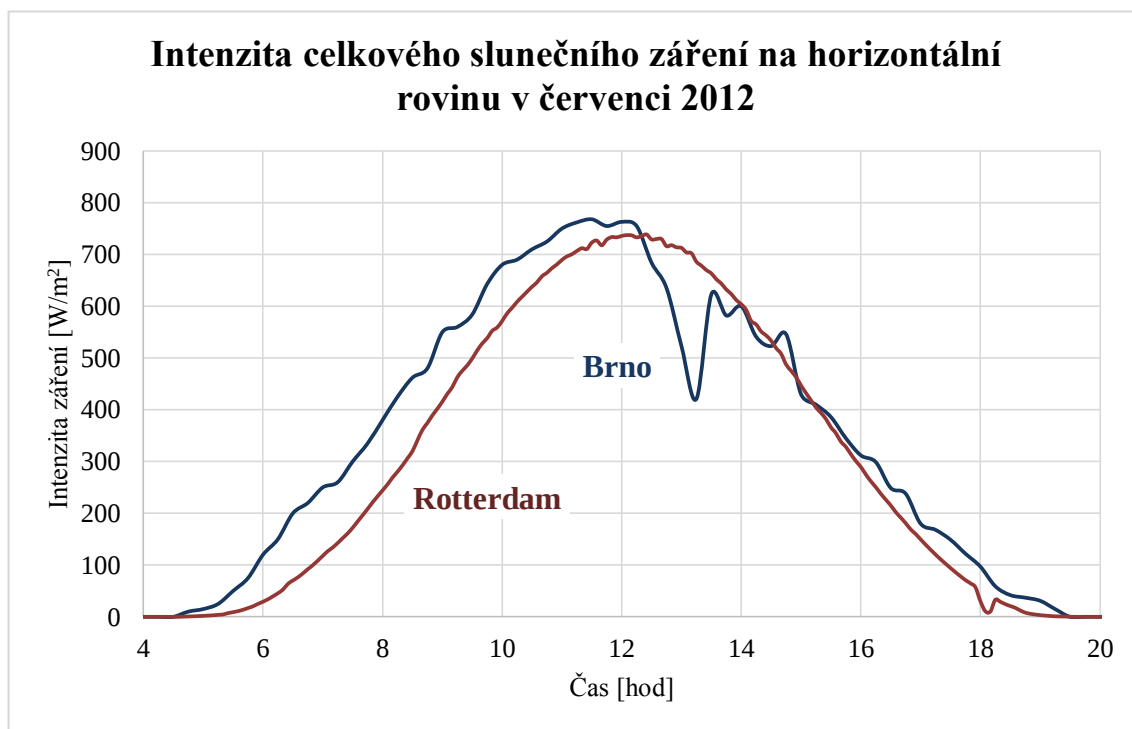
Obr. 23.: Rhoon, Nizozemsko

Holandsko má mírné mořské klima. Zimy tedy jsou mírné a léta nejsou příliš horká. Typickým znakem je však nepředvídatelnost a větší množství srážek také z důvodu absence jakéhokoliv pohoří. Průměrná venkovní teplota za rok 2012 ve městě Rotterdam je $10,3^{\circ}\text{C}$ ^[30] (v Brně je to $10,72^{\circ}\text{C}$ ^[19]).



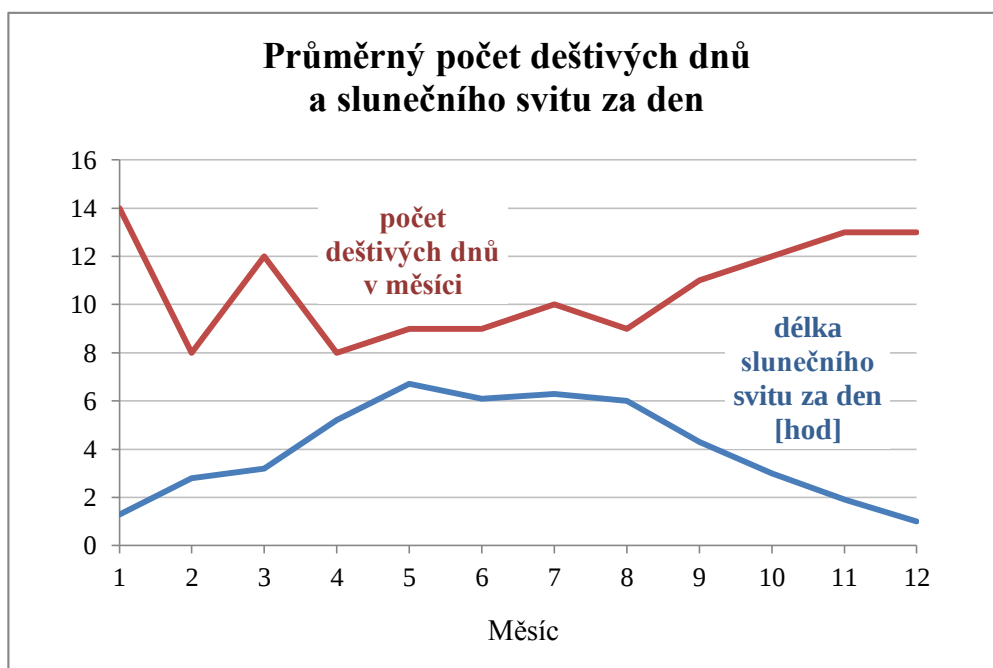
Graf 4.: Průměrná měsíční venkovní teplota pro rok 2012 ^[30], ^[19]

V Rotterdamu minimální teplota byla v roce 2012 v měsíci únor $-11,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, maximální teplota v měsíci srpen $32,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[30]. V porovnání s Českou republikou, město Brno, pro rok 2012 jsou tyto hodnoty srovnatelné (v létě maximum $30,14\text{ }^{\circ}\text{C}$, v zimě minimum $-13,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[19]). Srovnatelné jsou i intenzity slunečního záření získané měřením na meteorologických stanicích.



Graf 5.: Celková sluneční radiace na horizontální rovinu v červenci 2012 ^{[19], [30]}

Počet slunečních hodin je v důsledku časté zatažené oblohy poskrovnu. Deštivých dnů je každý měsíc okolo deseti.



Graf 6.: Průměrný počet deštivých dnů a slunečního svitu za den Rotterdam ^[15]

7 ANALÝZA BUDOVY

V rodinném domě bydlí celkem tři osoby. Objekt má dvě nadzemní podlaží. Půdorysně vytváří písmeno L. V prvním podlaží se nachází garáž, kuchyně, jídelna, obývací pokoj, ložnice majitelů a koupelna majitelů. Ve druhém podlaží jsou pak dva pokoje, koupelna se záchodem a kotelnou.

Nosnou konstrukci objektu tvoří vápenopískové cihly. Po celé délce obvodové zdi jsou holandské cihly. Střecha je z části sedlová a z části plochá. Střešní krytina je tvořena keramickými taškami. Okna a dveře jsou plastová. V 1.NP jsou využita především tzv. francouzská okna, kdy okna mají parapet až na úrovni podlahy. Jsou to velké prosklené plochy umožňující prosvětlení prostoru. Velkou výhodou těchto oken je jejich úspora vnitřního prostoru při otevírání, které je velmi snadné a nenáročné, pomocí posuvných dílů.

Hlavním zdrojem tepla je plynový kotel a v současnosti slouží pro přípravu otopné vody i teplé vody. V objektu jsou použity podlahové konvektory a dvoutrubková uzavřená otopná soustava se spodním rozvodem. Vždy s nuceným oběhem vody. Otopná tělesa jsou desková a v některých místnostech je doplňují podlahové konvektory pro zajištění tepelné pohody. Objekt je větrán přirozeně kromě kuchyně a hygienických zařízení, kde je umístěno nucené podtlakové větrání (malý radiální ventilátor).



Obr. 24.: Rodinný dům

7.1 Technický stav budovy a jeho řešení

Budova byla postavena zhruba před 40 - 50 lety (dle informace majitelů). Na základě návštěvy RD (v prosinci 2012), provedení zaměření a nafocení objektu jsem vytvořila výkresovou dokumentaci skutečného stavu (viz výkresy V. 1. - V. 3.). Původní dokumentace není již k dispozici.

Pro návrh využití solární energie je nezbytné určit tepelně technický stav budovy. K základní představě by postačil i energetický štítek obálky budovy. Současným vhodným ukazatelem je průkaz energetické náročnosti budovy, který zohledňuje i další parametry (veškeré potřebné energie na provoz celého domu). Obě tyto hodnocení včetně grafického průkazu lze provést např. v programu PROTECH.

7.1.1 Energetické hodnocení

Na základě odborného posouzení a poznatků majitele jsem sestavila skladbu jednotlivých konstrukcí a vypočítala tepelné ztráty. Pro přesnější vyhotovení by bylo potřeba provést podrobný průzkum skladby konstrukcí. Výsledky jsou následující:

Tepelný výkon ČSN EN 12831

Letochová

Zakázka: Protech

TV v.2.9.5 © PROTECH spol. s r.o.

Datum tisku: 2.8.2013

Výpočet budovy - varianta 1

Stavba:	Rodinný dům	Investor:
Místo:	Rhoon, Holandsko	
Zpracovatel:	Bc. Letochová Jana	
Zakázka:	Tepelná ztráta budovy	Archiv:
Projektant:		Datum: 9.7.2013
E-mail:		Telefon:

$t_e = -8 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{ib} = 20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ $n_{50} = 5,0$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i $^\circ\text{C}$	V_{mi} m^3	A_p m^2	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLM} W	Q_{cm} W	q_{cm} $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
ÚSEK 1											
1	101	1.NP	1	20	247,6	99,1	1 347	5 318	6 665	6 665	67,3
1	102	2.NP	1	20	146,1	66,4	795	2 320	3 115	3 115	46,9
Σ úsek 1					393,7	165,5	2 142	7 638	9 780	9 780	

Návrhová tepelná ztráta budovy prostupem tepla je $\Phi_T = 7,6 \text{ kW}$. A celková tepelná ztráta včetně tepelné ztráty větráním je $Q_c = 9,78 \text{ kW}$.

Tyto hodnoty jsou poměrně vysoké a pro tak starý dům celkem pochopitelné. Energetickým štítkem jsem zohlednila obálku budovy. Pokud by majitelé uvažovali o úspoře nákladů na energii, měli by investovat jako první do kompletního zateplení domu. Bohužel by to nebyly malé náklady. Pokud by se rozhodli k rekonstrukci, mohl by se ukazatel v energetickém štítku (dle českých norem) posunout z hodnoty F-velmi nevhodná na přijatelné C-vyhovující (viz příloha A. 1.). Jednalo by se o zateplení zejména obvodových stěn a střechy (u ploché střechy by bylo potřeba výměna celé skladby). Vzhledem k relativně velkým zaskleným plochám by byly vhodná nová okna s dvojskly.

Po úpravách se návrhová tepelná ztráta budovy prostupem tepla sníží na polovinu původní hodnoty $\Phi_{Tm} = 3,4 \text{ kW}$. Celková tepelná ztráta včetně tepelné ztráty větráním pak bude také menší $Q_{cm} = 5,55 \text{ kW}$.

Tepelný výkon ČSN EN 12831

Letochová

Zakázka: Protech

TV v.2.9.5 © PROTECH spol. s r.o.

Datum tisku: 2.8.2013

Výpočet budovy - varianta 2

Stavba:	Rodinný dům	Investor:	
Místo:	Rhoon, Holandsko		
Zpracovatel:	Bc. Letochová Jana	Archiv:	
Zakázka:	Tepelná ztráta budovy	Datum:	9.7.2013
Projektant:		Telefon:	
E-mail:			

$t_e = -8 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{ib} = 20,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ $n_{50} = 5,0$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i $^\circ\text{C}$	V_{mi} m^3	A_p m^2	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLM} W	Q_{cm} W	q_{cm} $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
ÚSEK 1											
1	101	1.NP	1	20	247,6	99,1	1 347	2 443	3 790	3 790	38,2
1	102	2.NP	1	20	146,1	66,4	795	964	1 759	1 759	26,5
Σ úsek 1					393,7	165,5	2 142	3 406	5 548	5 548	

Návrh zateplení obvodové stěny: Hodnota součinitele prostupu tepla U přidáním tepelné izolace o tloušťce 170 mm se sníží z 1,222 na hodnotu 0,248 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Neprůsvitné konstrukce

OK	ZZ	U $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	KC	Z/P	Vrstva	d mm	λ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	Z_{TM}	R_v $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Stěna ochlazovaná varianta 2									
Korekční činitel: $\Delta U = 0.05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $UN_{20} = 0.30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ANO									
SO1	Z	0,248	R_{si}		Odpor při přestupu				0,130
			105-02	P vr.	Omítka vápenocementová	20	0,990		0,020
			242-006e	Z vr.	VP tvarovka Holand	170	0,380		0,380
			163-02	Z vr.	Vzduchová mezera - svislá	50			0,180
			151-012e	Z vr.	CP Holand 225/110/60	110	0,780		0,141
			108a-043	P vr.	Minerální vlna MVV (100)	170	0,041		4,146
			105-02	Z vr.	Omítka vápenocementová	20	0,990		0,020
			R_{se}		Odpor při přestupu				0,040
					Σ	540			5,058

Návrh zateplení ploché střechy: Hodnota součinitele prostupu tepla U přidáním tepelné izolace o tloušťce 180 mm se sníží z 0,350 na hodnotu 0,163 W/(m²·K).

Bohužel se jedná o střechu jednotnou (přímo spojenou) se střechou sousedního domu, následné úpravy by se musely provádět jedině se souhlasem sousedů. Pro zachování vzhledu se může jako finální vrstva opět použít štěrkový posyp. Musel by se také vyřešit vzniklý výškový rozdíl důsledkem přidáním značné vrstvy izolace.

Tepelný výkon ČSN EN 12831

TV v.2.9.5 © PROTECH spol. s r.o.

Letochová

Datum tisku: 2.8.2013

Zakázka: Tepelné ztráty budovy

Neprůsvitné konstrukce

OK	ZZ	U W/(m ² ·K)	KC	Z/P	Vrstva	d mm	λ W/(m·K)	Z_{TM}	R_v (m ² ·K)/W
Střecha plochá kuchyně varianta 2									
Korekční činitel: $\Delta U = 0.05$ W/(m ² ·K) $U_{N,20} = 0.24$ W/(m ² ·K) ANO									
SCH1	Z	0,163	R_{si}		Odpor při přestupu				0,100
			109-021	Z vr.	Dřevo měkké kolmo k vláknům	15	0,180		0,083
			163-01	Z vr.	Vz. - tok zdola nahoru	135			0,160
			101-021	Z vr.	Železobeton (2300)	200	1,430		0,140
			116-03	Z vr.	Fólie z PE	1	0,350		0,003
			108a-043	Z vr.	Minerální vlna MVV (100)	140	0,041		3,415
			631h-042	P vr.	Isover Plus	180	0,037		4,865
			130-06e	Z vr.	Geotextilie	3	0,065		0,046
			116-02	Z vr.	Fólie z PVC	2	0,160		0,013
			R_{se}		Odpor při přestupu				0,040
					Σ	676			8,864

Poznámka:

Z_{TM} - činitel tepelných mostů. Koriguje součinitel tepelné vodivosti o vliv kotvení, přerušení izolační vrstvy krokvemi, rámovou konstrukcí atp. [$\lambda_{ekv} = \lambda \cdot (1 + Z_{TM})$]

Průkaz energetické náročnosti budovy při provedení daného zateplení tak jako u štítku celkově vychází do C (viz příloha A. 2.).

Obdobně v Nizozemském království platí od roku 2008 povinnost zřídit při prodeji a pronájmu nemovitosti certifikát energetické náročnosti (EPC). Byl vytvořen v rámci evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD).

8 PROFIL UŽÍVÁNÍ

8.1 Spotřeba vody

Celkové množství spotřebované vody se každý den mění. S narůstající cenou pak můžeme pozorovat každoroční pokles (z důvodu snahy snížit náklady).

Nejvíce vody se užije v koupelně. Z toho na prvním místě je to vana (100 - 150 l) a častěji využívané sprchy (30 - 80 l). Mytí rukou a také toalety, ty jsou však vybaveny dvojitým splachováním (6 litrů na plné a na 3 litry na poloviční spláchnutí). Velké množství vody spotřebuje i pračka (umístěná v garáži, 40 - 80 l).

Dále se bezesporu vody využívá v kuchyni na vaření (5 - 7 l) a mytí nádobí. Rodina však využívá myčku na nádobí, takže spotřeba se snížila na čtvrtinu (10 - 15 l) oproti mytí nádobí pod tekoucí vodou. Zbýlá voda proteče při přípravě nápojů, úklidu domácnosti nebo zalévání rostlin.

Podle vyhlášky č.120/2011 Sb. ^[6] určující směrná čísla roční potřeby vody (příloha č. 12), potřeby pitné vody a zpravidla i množství odpadní vody činí v RD na osobu a rok 36 m³. Z této hodnoty a počtu obyvatel RD by měla být celková spotřeba vody 108 m³ za rok.

Z poskytnutých hodnot uživatelem byla spotřeba vody v roce 2012 na osobu 78 m³. Na den a osobu to následně průměrně vychází 71 litrů.

spotřeba vody v roce 2012	78	[m ³]
počet dní v roce 2012	366	(... přestupný rok)
počet osob v RD	3	
denní potřeba vody na osobu		

$$V = \frac{78}{366 * 3} = 0,071 [m^3/osoba.den] \quad (B. 1.)$$

8.1.1 Spotřeba TV

Spotřeba teplé vody se pro každou osobu v průběhu dní liší dle okamžité potřeby. Pro výpočet potřeb můžeme vycházet z několika možností. Nejpříjemnější by bylo mít naměřenou hodnotu spotřeby nejen pro celkovou dodávku vody, ale i pro TV. Jinak pro výpočet potřeby TV můžeme vycházet z ČSN 06 0320 ^[1]. Ta udává 82 litrů na osobu a den.

Potřeba TV 55°C na osobu a den dle ČSN						
parametr		baterie				součet
		umyvadlo	dřez	sprcha	vana	
počet dávek n _d	[-]	3	0,8	1	0,3	
objem dávek V _d	[m ³]	0,03	0,002	0,025	0,025	0,082
teplo v dávkách	[kWh]	1,5	0,1	1,3	1,4	4,3

Tyto hodnoty jsou však výrazně vyšší než běžně dosahované. Dle normy ČSN EN 15316-3-1 ^[2] se denní potřeba (objem) teplé vody V_{day} [m^3/den] stanovuje podle specifické potřeby pro konkrétní druh budovy podle vztahu:

$$V_{\text{day}} = \frac{V_{f,\text{day}} * f}{1000} = \frac{50 * 3}{1000} = 0,15 [\text{m}^3/\text{den}] \quad (\text{B. 2.})$$

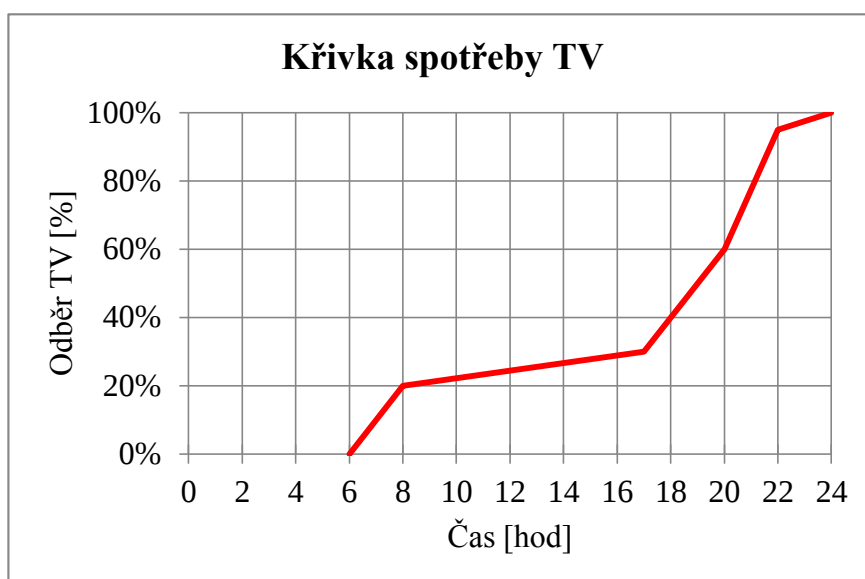
specifická potřeba TV pro RD $V_{f,\text{day}} = 40 - 50$ [$\text{l}/(\text{osoba} \cdot \text{den})$]

počet měrných jednotek (osob) $n = 3$

40 - 50 litrů TV na osobu a den odpovídá střednímu standartu spotřebě vody a odpovídá i naměřené spotřebě celkového množství vody. TV zaujímá 57 – 72 % z celkové spotřeby vody v daném RD.

Ze zjištěných hygienických návyků a zvyků rodiny jsem vytvořila časové rozložení odběru TV a následně křivku spotřeby teplé vody.

Časové rozložení odběru TV	
hod	% z celkového množství
0 - 6	0%
6 - 8	20%
8 - 17	10%
17 - 20	30%
20 - 22	35%
22 - 24	5%
Σ	100%



Graf 7.: Křivka spotřeby TV

Ranní vyšší spotřeba je odůvodněna sprchováním. Největší nárůst spotřeby odpovídá páté hodině odpolední, po příchodu obyvatel z práce a ze školy.

8.2 Spotřeba tepla

Součástí celkové dodané energie do domu je především potřebná energie na vytápění a na přípravu teplé vody. Obě tyto dodávky v současnosti zajišťuje plynový kotel s účinností 80 % umístěný v kotelně ve 2.NP. Tento kotel má celkem čtyři připojení. Dvě jsou součástí dodávky teplé vody a dvě jsou připojení na topný systém objektu. Pokud je potřeba přísunu teplé vody, uzavře se okruh vytápění a sepne průtokový ohřívač pitné vody. Do výměníku užitkové vody je zabudován malý zásobník, který umožňuje zmenšit čas mezi čekáním spuštěním vody a okamžikem odběru teplé vody.

Typ kotle: Vaillant Thermocompact 2000 VCW 255/2 E

Výkon kotle: 10 - 25 kW

Nominální průtok vody: 6,9 l/min (nastaveno ve výrobě)

Další specifikace: viz příloha A. 3.



Obr. 25.: Kotelna

Průtok 6,9 l/min odpovídá dvěma výtokovým armaturám (dvě umyvadla), nebo je dostačující jen pro průtok v jedné sprše.

Pod dvířky kotle na ovládacím panelu lze regulovat teplotu topné vody a teplotu teplé vody pomocí otáčecího ovladače. Například u teploty teplé vody (horní ovladač) poloha 1 odpovídá teplotě 35 °C a poloha 7 odpovídá teplotě okolo 65 °C.

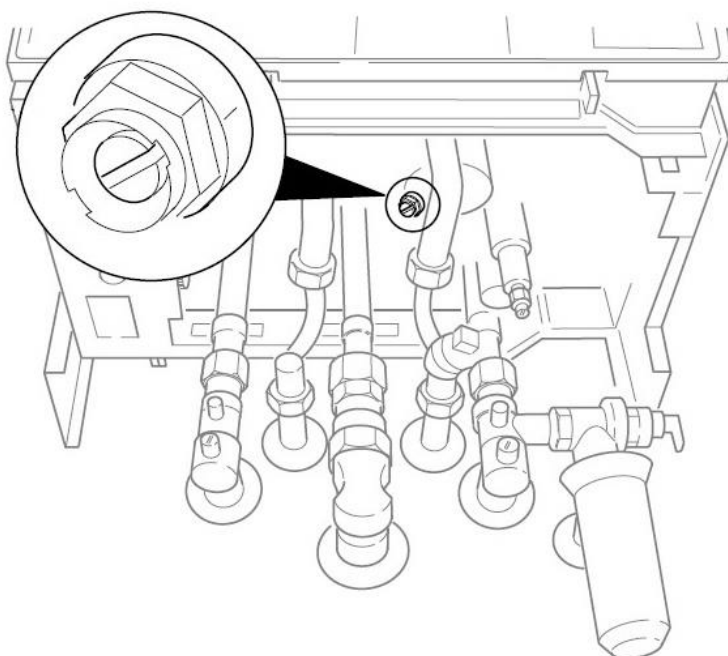


Obr. 26.: Ovládací panel kotle

8.2.1 Příprava TV

Teplá voda je připravována v průtokovém ohřívači - v kotli v kotelně. Odtud je pak rozváděna trubkami v rodinném domě. Nejprve je TV přiváděna k sousední koupelně ve 2.NP a pak následně do koupelny v 1.NP.

Při současném odběru TV v koupelnách se vyskytoval problém nedostatečného výkonu kotle při daném nastavení a nedostatečný tlak (nízký průtok). Okamžitým řešením bylo navýšení teploty TV otáčecím ovladačem v ovládacím panelu (nevyužíval se maximální výkon). Nízký tlak se vyřešil pomocí regulačního šroubu umístěného ve spodní části kotle. Pokud by v budoucnu problém s tlakem přetrvával, možným řešením je připojení malé automatické tlakové stanice, jiný způsob zapojení (zkrácení trasy vodovodu nebo cirkulační čerpadlo) nebo výměna celého kotle.



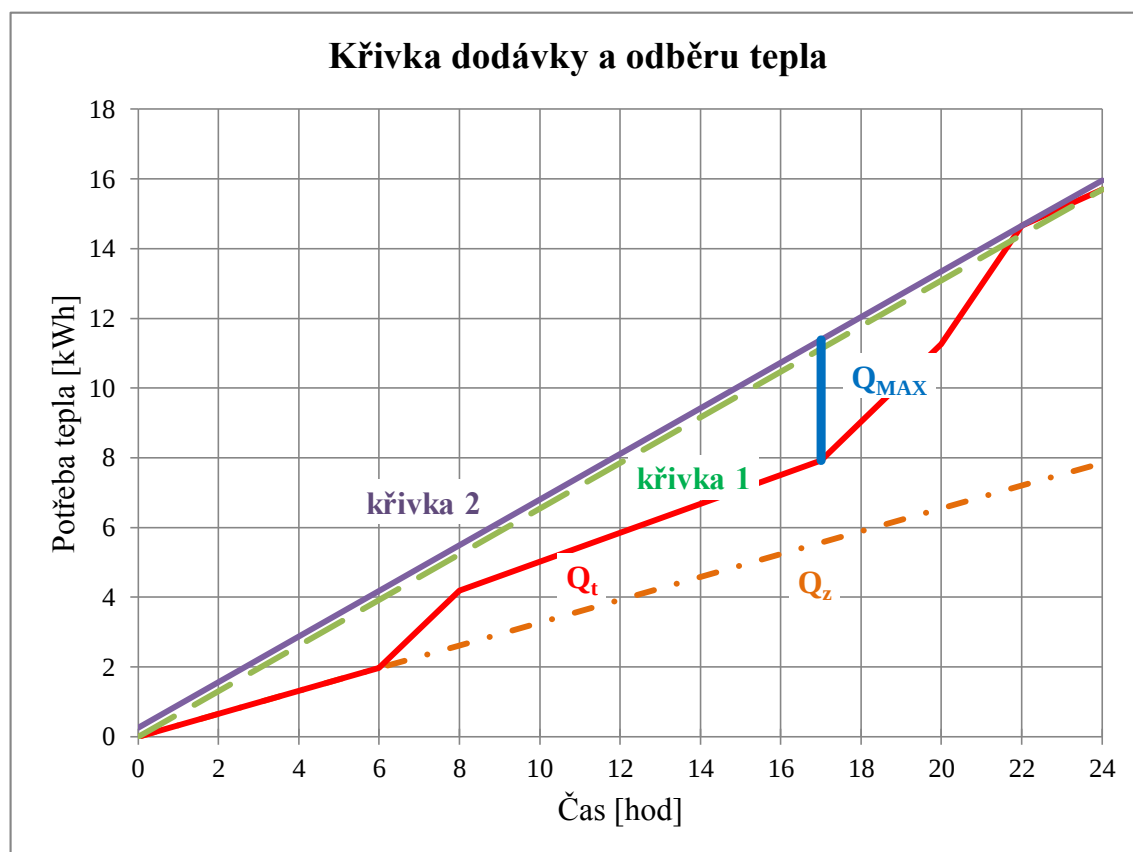
Obr. 27.: Regulační šroub kotle ^[28]

Z důvodu velké vzdálenosti kotelny a menších nároků na množství odebírané teplé vody v kuchyni je zde použit elektrický ohřívač o objemu 5 l umístěný pod dřezem. K mytí nádobí se využívá především myčka na nádobí.



Obr. 28.: Elektrický ohřívač

Dalším řešením nedostatečného množství TV, při současném využívání obou koupelen, by byl zásobníkový ohřívač vody. Z křivky spotřeby TV můžeme zjistit maximální hodnotu potřeby tepla na přípravu teplé vody. Z této hodnoty se pak následně odvíjí případný návrh velikosti akumulárního zásobníku.



Graf 8.: Křivka dodávky a odběru tepla

teplota TV $t_2 = 55 \text{ } [^{\circ}\text{C}]$
 teplota SV - zima $t_{1Z} = 10 \text{ } [^{\circ}\text{C}]$
 teplota SV - léto $t_{1L} = 15 \text{ } [^{\circ}\text{C}]$
 měrná tep. kapacita $c = 1,163 \text{ } [\text{Wh}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$
 poměrná ztráta tepla $z = 1$
 denní potřeba TV $V_p = 0,15 \text{ } [\text{m}^3/\text{den}]$

teplo odebrané $Q_t = c \cdot V_p \cdot (t_2 - t_{1Z}) = 7,850 \text{ } [\text{kWh}]$
 teplo ztracené $Q_z = Q_t \cdot z = 7,85 \text{ } [\text{kWh}]$
 teplo celkem $Q_p = Q_t + Q_z = 15,701 \text{ } [\text{kWh}]$

$Q_{\text{MAX}} =$	3,47	[kWh]
17hod	křivka 2	11,38
	Q_t	7,92

Maximální rozdíl mezi křivkou dodávky tepla a křivkou spotřeby teplé vody (dle zvyklostí uživatelů) je přibližně v 17 hodin a činí 3,47 kWh.

Celkově odebrané teplo přípravou TV dle výpočtu obr. 29:

denně = 15,701 kWh/den

ročně = 5,1 MWh/rok (= 18,5 GJ/rok)

Lokalita (Tabulka) Město: Rhoon Délka topného období: d = 232 [dny] Venkovní výpočtová teplota $t_e =$ -8 °C Prům. teplota během otopného období $t_{es} =$ 7,5 °C	
☒ Vytápění Tepelná ztráta objektu $Q_c =$ 9,78 kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} =$ 19 °C ??? Vytápěcí denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 2668 \text{ K.dny}$ Opravné součinitele a účinnosti systému $\epsilon_i =$ 0.85 ??? $\eta_o =$ 0.9 ??? $\epsilon_t =$ 0.90 ??? $\eta_r =$ 0.8 ??? $\epsilon_d =$ 1.00 ??? Opravný součinitel ϵ ??? ☒ $\epsilon = \epsilon_i \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_d = 0.765$ ☐ $\epsilon =$ 0.765 $Q_{VYT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \left(\begin{array}{l} 88.7 \text{ GJ/rok} \\ 24.6 \text{ MWh/rok} \end{array} \right) > \text{Náklady}$	☒ Ohřev teplé vody $t_1 =$ 10 °C ??? $\rho =$ 1000 kg/m ³ ??? $t_2 =$ 55 °C ??? $c =$ 4186 J/kgK ??? $V_{2p} =$ 0.15 m ³ /den ??? Koeficient energetických ztrát systému $z =$ 1 ??? Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 15.7 \text{ kWh}$ Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$ 15 °C Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$ 10 °C Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$ 366 [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0.8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{l} 18.5 \text{ GJ/rok} \\ 5.1 \text{ MWh/rok} \end{array} \right) > \text{Náklady}$
Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody $Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = \left(\begin{array}{l} 107.2 \text{ GJ/rok} \\ 29.8 \text{ MWh/rok} \end{array} \right) > \text{Náklady}$	

Obr. 29.: Teoretický výpočet množství tepla na vytápění a ohřev TV ^[23]

8.3 Spotřeba elektrické energie

Spotřeba elektrické energie je ovlivňována samotnými uživateli, denní dobou i ročním obdobím. Největší spotřeba je v zimním období (např. vlivem kratších dnů). Nejvyšší nárůst spotřeby je kolem šesté hodiny ráno a pak v odpoledních hodinách kolem osmnácté hodiny.

Mezi spotřebiče využívající el. energii v tomto RD patří především spotřebiče umístěné v kuchyni jako je elektrický sporák a trouba, rychlovarná konvice, mikrovlnná trouba, lednička, myčka nádobí a žehlička, televize, přehrávač a osobní počítač. Mezi další velké odběratele patří osvětlení. Pračka je umístěná v garáži. Ukazatelem je ve velké míře příkon spotřebiče. Mezi méně jasné elektrické spotřebiče musíme také zahrnout čerpadla, spínače a měřiče (umístěné např. v kotli, ledničce, myčce...), které fungují jako pomocné.

Z faktury spotřeby energie lze vyčíst množství spotřebované elektrické energie. Za rok 2012 dosáhla hodnoty 1 449 kWh.

8.3.1 Tepelné zisky

Vliv na množství spotřebované energie na vytápění v tomto domě mohou mít tepelné zisky jak z vnějších tak z vnitřních zdrojů. Mezi tepelné zisky od vnitřních zdrojů patří produkce tepla od uživatelů (vaření), od svítidel a od spotřebičů (kondenzátor v ledničce, v myčce nádobí ...).

Při uvažování, že každý člověk vydá tepla jako 100 W žárovka, ale ne vždy jsou v domě všichni přítomni (70 %), je celkový příjem 210 W. Od svítidel a spotřebičů můžeme zjednodušeně uvažovat zisk 100 W.

Tepelnými zisky od vnějších zdrojů myslíme solární zisky vycházející ze slunečního záření. Hodnoty jsou dány polohou objektu, orientací oken, trvalým stíněním a charakteristikou solární propustnosti a pohltivosti průsvitných ploch. Stínění je však dosti velké (sousední objekty, zeleň...) a přes skleněné plochy v podobě francouzských oken v 1.NP bychom mohli mezi tepelné zisky počítat pouze s prostupem tepla konvekci. Prostup tepla okny sluneční radiací by mělo pouze malý vliv. Větší význam radiace by mohla mít pouze střešní okna (nejsou stíněna).



Obr. 30.: Prosklené plochy

8.3.2 Vytápění

Potřeba tepla na vytápění hraje v energetické bilanci domu velkou roli a je jí celkově věnována značná pozornost. V tomto RD je topná voda připravená v plynovém kotli a dále využívána deskovými otopnými tělesy především ve 2.NP. V 1.NP využívané podlahovými konvektory. V koupelnách jsou to pak trubková otopná tělesa. Nemalou roli na vytápění hrají krbová kamna (dřevěné brikety, účinnost 70 %) umístěná v obývacím pokoji jako doplňkový zdroj tepla. Zároveň pro majitele plní funkci estetickou.

Při stanovení potřeby energie na vytápění se vychází z tepelné ztráty budovy. Stávající hodnota tepelné ztráty RD je $Q_c = 9,78 \text{ kW}$. Celková spotřeba je však ovlivněna také účinností zdroje vytápění, účinností rozvodů, regulací a v neposlední řadě schopností reagovat a využít tepelné zisky.

Střední denní průměrnou venkovní teplotu vzduchu pro začátek a konec otopného období volím $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Délka otopného období je 232 dní (pro rok 2012). Venkovní výpočtová teplota je $-8 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměrnou vnitřní výpočtovou teplotu volím $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Mezi opravné součinitele patří součinitel na tepelnou ztrátu infiltrací. Infiltrace v běžných případech tvoří 10-20 % celkové tepelné ztráty, volím tedy součinitel e_i velikosti 0,85. Další součinitel je na možnost snížení teploty v místnosti během dne respektive noci vlivem regulace. Jelikož v dopoledních hodinách není nutností 100% výkon otopné soustavy, volím součinitel e_t velikosti 0,85. Vzhledem k sedmidennímu provozu otopné soustavy je součinitel $e_d = 1,0$. Dále účinnost systému závisí na možnosti regulace soustavy, volím $\eta_0 = 0,9$. Účinnost rozvodu vytápění je však nižší, vzhledem k tepelným ztrátám, $\eta_r = 0,8$. Zvolené hodnoty jsou pouze předpokládané. Skutečné vlastnosti systému se mohou lišit.

Množství tepla potřebné na vytápění výpočtem (viz obr. 29.) vychází:

ročně = $24,6 \text{ MWh/rok}$ ($= 88,7 \text{ GJ/rok}$).

Stav rozvodů v 1.NP je i nadále, přes rekonstrukci vnitřní části objektu, vodovodu a rozvodů topné vody k otopným tělesům před třemi lety, nevyhovující. Především je opomíjen fakt zateplení rozvodů k podlahovým konvektorům. Na obrázku 30 je vyfocen průlezný sklep sloužící jen k vedení potrubí. Jsou zde vidět zbytky starších rozvodů. Z důvodu nezatepleného rozvodu topné vody (potrubí bílé barvy) se teplota ve sklepě pohybuje v blízkosti $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále zde vzniká kondenzace na vnitřní části vodovodu (potrubí modré barvy). Velká část tepla tedy uniká do podloží domu. Pro navýšení účinnosti vytápění bych doporučovala potrubí zateplit. Ostatní rozvody v RD jsou skryté, nelze tedy zhodnotit jejich stav.



Obr. 31.: Rozvody v RD

Takto zhotovené sklepy RD jsou v dané oblasti běžné. Klasicky postavené sklepy, jak je známe z České Republiky (tzn. konstrukční výška jako běžné podlaží), se zde nevyskytují vůbec. Především z důvodu vysoké hladiny podzemní vody.

Dle poskytnuté faktury (příloha A. 4.) za uplynulý rok 2012 se celková spotřeba za plyn vyšplhala na hodnotu 1 806 m³. Výhřevnost zemního plynu je 31,65 MJ/m³ v Holandsku (jiný dodavatel než v ČR, výhřevnost „ruského plynu“ je vyšší 33,48 MJ/m³). Při účinnosti plynového kotle 80 %, spotřebovaný plyn dal celkem 45,73 GJ tepla.

Množství spotřebovaných briket (odhad majitelů) vyšlo celkově na 1 000 - 1 200 Eur (= 25 - 30 tis Kč, při kurzu 25 Kč = 1 Eur). Při uvažované ceně 3 Eur/10 kg se spotřebovalo 3330 - 4000 kg briket. Dřevěné brikety mají předpokládanou výhřevnost 16,21 MJ/kg. Při účinnosti krbu 70 %, spotřebované brikety daly celkem 45,39 GJ tepla.

spotřebovaný plyn	1806	[m ³]
výhřevnost zemního plynu	31.65	[MJ/m ³]
účinnost plynového kotle	80	[%]
množství tepla	45.73	[GJ]
množství briket	3330-4000	[kg]
výhřevnost briket	16.21	[MJ/kg]
účinnost krbu	70	[%]
množství tepla	45.39	[GJ]
dodané teplo celkem	91.12	[GJ]

Tabulka 1.: Množství tepla

Vypočtená roční hodnota spotřeby tepla na přípravu TV a vytápění:

$$\text{TV} + \text{vytápění} = 18,5 + 88,7 = 107,2 \text{ GJ}$$

Dodaná energie ve formě plynu a briket:

$$\text{plyn} + \text{brikety} = 45,73 + 45,39 = 91,12 \text{ GJ}$$

Vypočtené hodnoty neodpovídají naměřené spotřebě energií. Důvodů může být několik. Např. lepší vlastnosti systému, lepší tepelně technické vlastnosti konstrukcí nebo neuvažované tepelné vnitřní zisky do snížení potřeb na vytápění.

Celkové skutečné náklady za plyn a elektřinu činí 1 527,59 Eur (= 38 190 Kč, při kurzu 25 Kč = 1 Eur).

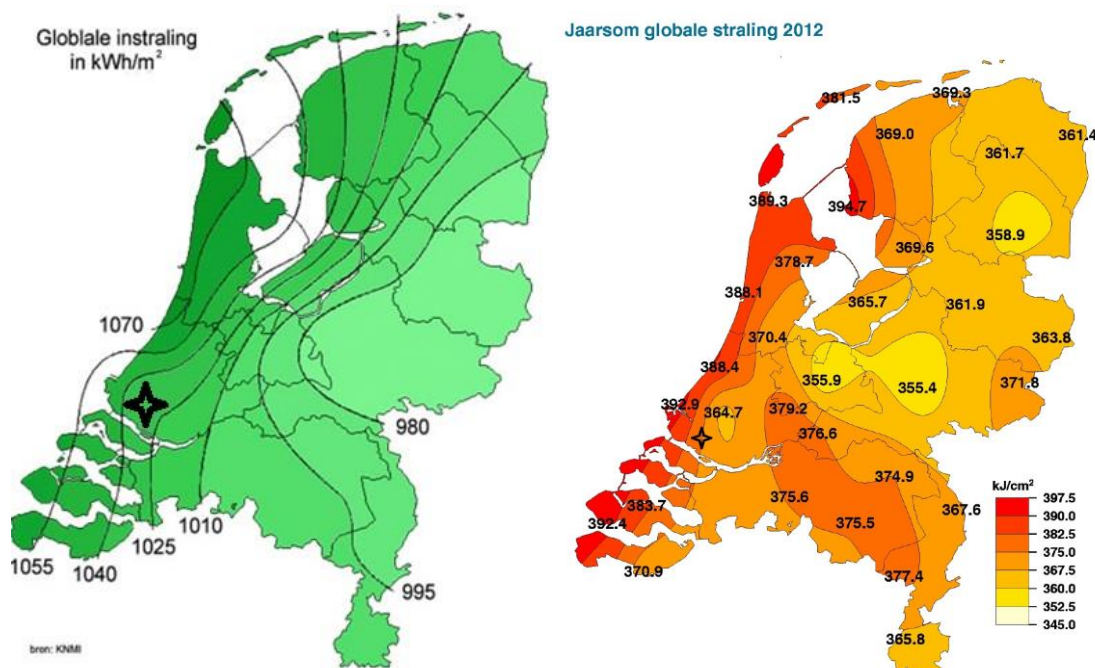
9 NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ KOLEKTORŮ

Nizozemsko ve srovnání s jihoevropskými státy má menší počet slunečních dní. Ročně se průměrný počet slunečních hodin vyšplhá na hodnotu 1550. V pobřežních provinciích je slunečního svitu i o sto hodin více. Nejvíce sluníčka se dočkáme v měsíci květnu (červenec a srpen nejsou více slunečné). (V klimatických podmínkách ČR až 1700 - 2200 h/rok.)

9.1 Získaná energie

Dle obr. 32. jsou roční solární zisky v dané oblasti RD (vyznačeno křížkem) cca 1030 kWh/m². Pro rok 2012 na vedlejším obrázku je sluneční záření (součet přímého a difúzního slunečního záření na horizontální rovině) uvedeno v kJ/cm².

$$1 \text{ J/cm}^2 = 2,7778 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/m}^2$$



Obr. 32.: Globální záření v kWh/m² [46] a v kJ/cm² [18] roku 2012

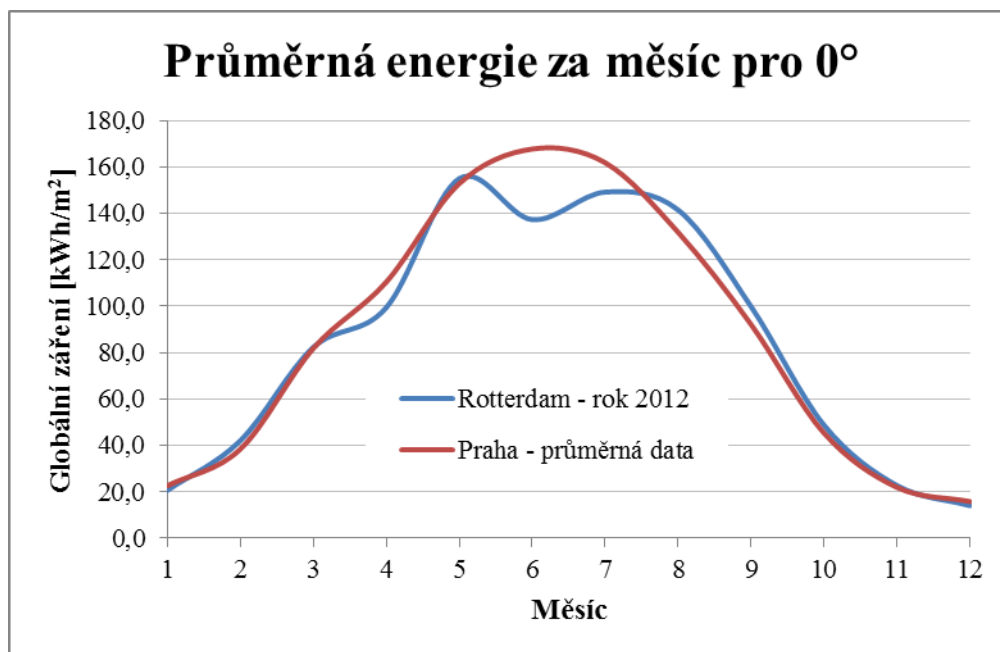
Pro srovnání s Českou republikou nejsou tyto hodnoty nijak závažně odlišné (v Praze 1042 kWh/(m²·rok)). Rozdílné je však jejich rozložení především v letním období. V Nizozemském království je množství získané energie ze slunečního záření značně ovlivněno oblačností tohoto přímořského státu.

Pro jednotlivé měsíce roku 2012 ve městě Rotterdam je energie následující:

	dle Meteorologisch institut ^[18]		dle Cihelky ^[7]
	Rotterdam - rok 2012		Praha - průměr
	J/cm ²	kWh/m ²	kWh/m ²
leden	7419	20,6	22,6
únor	15136	42,0	38,4
březen	29621	82,3	81,8
duben	35783	99,4	110,4
květen	55807	155,0	152,8
červen	49432	137,3	167,7
červenec	53701	149,1	161,8
srpen	50929	141,4	131,8
září	35947	99,8	92,1
říjen	17535	48,7	45,3
listopad	8175	22,7	21,9
prosinec	5052	14,0	15,8

přímé i difuzní záření - celkem 1012,4 1042,4

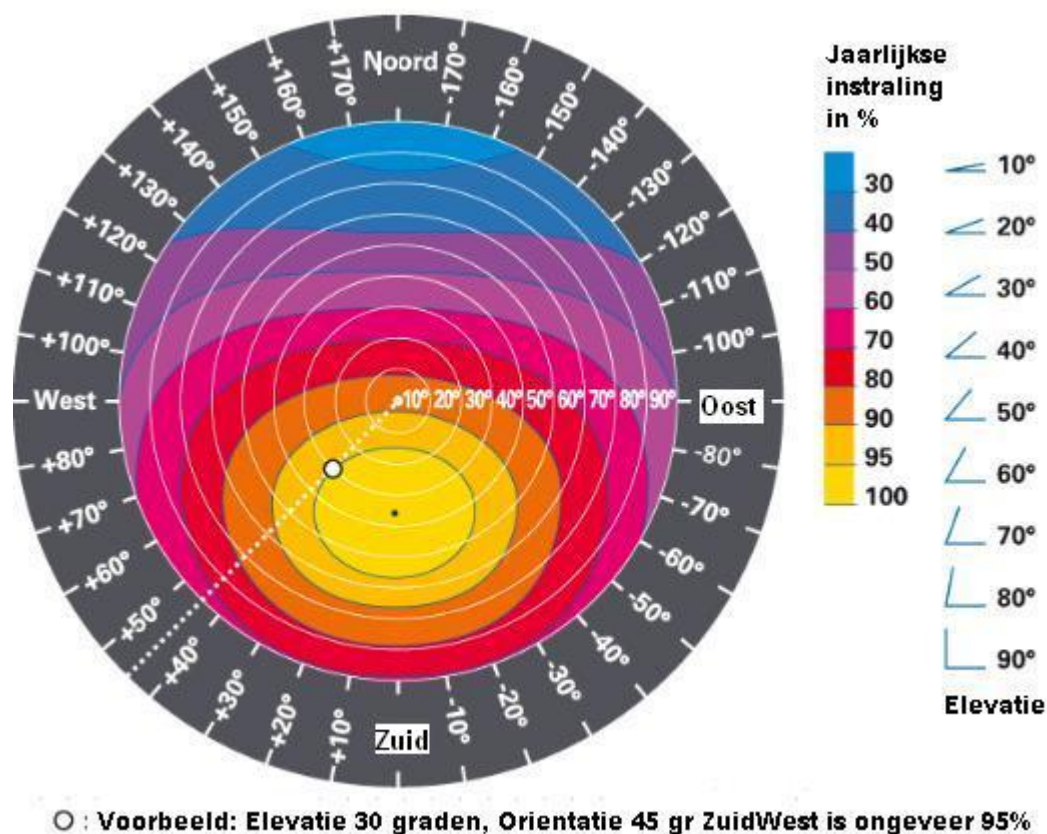
Tabulka 2.: Energie ze slunečního záření



Graf 9.: Průměrná energie dopadající za měsíc při úhlu sklonu osluněné plochy 0° ^{[7] [18]}

9.2 Optimální sklon

Na obrázku 33. lze odvodit nejvhodnější sklon panelu v Nizozemí. Pro 100 % pokrytí záření by panel měl být orientován na jih. V případě potřeby by mohl být kolektor nakloněn mírně na jihozápad. Sklon by se měl pohybovat okolo 37°. Při jiném nastavení se snižuje množství získaného záření. Jako příklad je zde uveden panel se sklonem 30° a orientací JZ. Dopadající záření je pak pouze 95 %.



Obr. 33.: Nejvhodnější sklon panelu ^[46]

RD je velmi mírně orientován směrem k jihovýchodu (viz výkres V. 1.). Můžeme tedy uvažovat natočení kolektorů směrem na jih. V tomto směru také nejsou žádné stínící prostředky, které by nám zamezovali plného přísunu záření. Tudiž jde o velmi výhodnou situaci. Plochá střecha nad kuchyní a nad vstupem přímo nabízí vhodné umístění solárních panelů (nad garáží by mohlo dojít v dopoledních hodinách ke vzniku stínění od stavby 2.NP tohoto domu). Umístění panelů na šikmou střechu 1.NP by z jižní strany nebylo možné z důvodu střešních oken.

O něco nákladnější bude pouze nosná konstrukce pod solární panely. Lze použít podpěrné konstrukce zakotvené do nosné vrstvy ploché střechy. Můžeme si je nastavit na ideální směr i ideální sklon a tím maximalizovat výnosy ze slunečního záření. Obtížnější bude zohlednění statiky a celkového zatížení střechy. U plochých kolektorů musíme počítat se zatížením okolo 50 kg, u trubicových vakuovaných kolektorů okolo 35 kg.

9.2.1 Intenzita solárního záření

Od sklonu kolektoru se odvíjí i velikost intenzity solárního záření. Pro měsíc leden dle metodiky Dr. Cihelky je postup následující:

Den - D:	21	Sluneční deklinace - δ [°]:	-20.04
Měsíc - M:	1	Zeměpisná šířka - φ [°]:	51.51
Azimut kolektoru - α_s [°]:	0 jih	Nadmořská výška - H [m]	1
Sklon kolektoru - α_k [°]:	37	Součinitel znečištění ovzduší - z:	3.75

Výpočet sluneční deklinace se odvíjí od dne a měsíce:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(23,45 \cdot \sin(29,7 \cdot M + 0,98 \cdot D - 109)) \quad (\text{B. 3.})$$

Výška slunce nad obzorem pak vychází ze zeměpisné šířky dané oblasti:

$$h = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \varphi - \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau) \quad (\text{B. 4.})$$

Azimut slunce závisí na sluneční deklinaci, na výšce slunce a na časovém úhlu:

$$\alpha = \arcsin[\sin(15 \cdot \tau) \cdot (\cos \delta / \cos h)] \quad (\text{B. 5.})$$

Rozdíl azimutů slunce a kolektoru:

$$\alpha - \alpha_s \quad (\text{B. 6.})$$

Úhel mezi normálou osluněné plochy a směrem paprsku:

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha_k + \cos h \cdot \sin \alpha_k \cdot \cos(\alpha - \alpha_s) \quad (\text{B. 7.})$$

Intenzita přímé sluneční radiace na plochu kolmou k paprskům:

$$I_{pn} = I_{sol} \cdot \exp[-0,1 \cdot z \cdot (\frac{16 - H}{16 + H} \cdot \frac{1}{\sin h})]^{0,8} \quad (\text{B. 8.})$$

Intenzita přímé sluneční radiace dopadající na rovinu kolektoru:

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma \quad (\text{B. 9.})$$

Intenzita difúzní sluneční radiace působící na rovinu kolektoru:

$$I_d = (1350 - 0,5 \cdot I_p) \cdot \frac{\sin h}{5} \quad (\text{B. 10.})$$

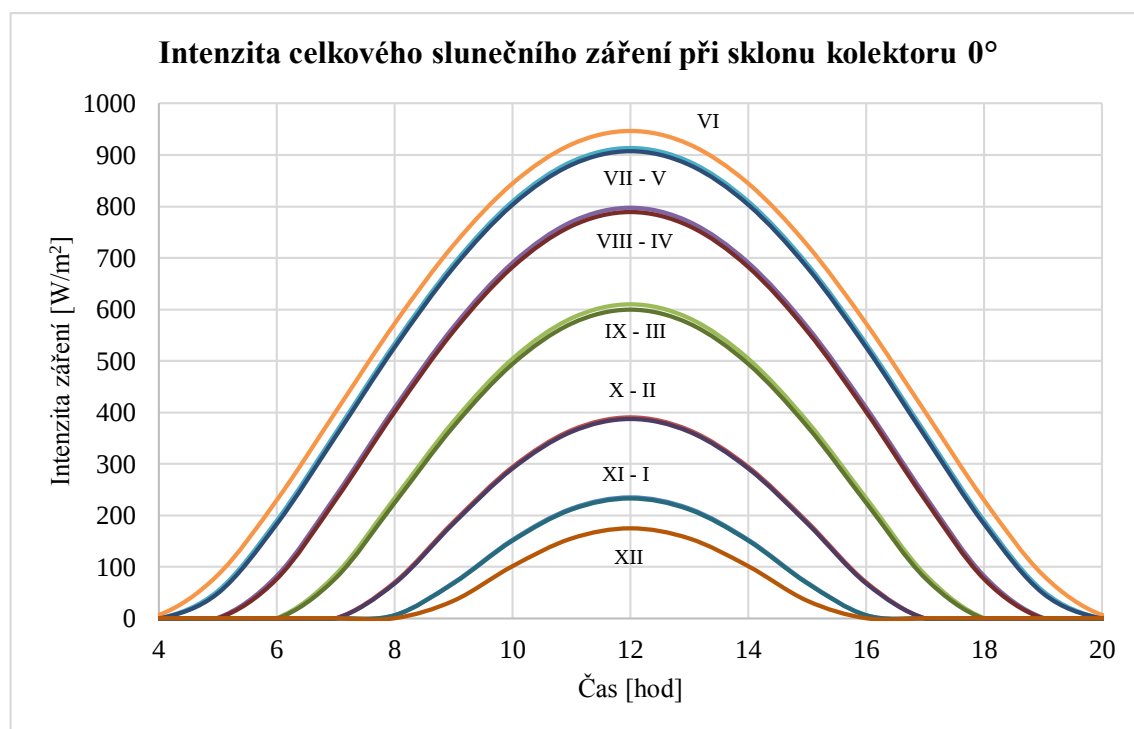
Celková intenzita sluneční radiace na vnějším povrchu kolektoru:

$$I_c = I_p + I_d \quad (\text{B. 11.})$$

t	h	α	$\alpha-\alpha_s$	γ	I_{pn}	I_p	I_d	I_c
[h]	[°]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
0	-58.53	0.00	0.00	111.53	0	0	0	0
1	-56.41	26.07	26.07	111.48	0	0	0	0
2	-50.77	47.96	47.96	111.33	0	0	0	0
3	-42.97	65.22	65.22	111.09	0	0	0	0
4	-34.10	79.26	79.26	110.78	0	0	0	0
5	-24.81	88.55	88.55	108.74	0	0	0	0
6	-15.56	77.21	77.21	94.93	0	0	0	0
7	-6.71	66.02	66.02	81.40	0	0	0	0
8	1.38	54.47	54.47	68.35	1	0	7	7
9	8.35	42.18	42.18	56.14	233	130	36	166
10	13.78	28.92	28.92	45.43	414	291	54	345
11	17.25	14.75	14.75	37.57	501	397	65	462
12	18.45	0.00	0.00	34.55	527	434	69	503
13	17.25	-14.75	14.75	37.57	501	397	65	462
14	13.78	-28.92	28.92	45.43	414	291	54	345
15	8.35	-42.18	42.18	56.14	233	130	36	166
16	1.38	-54.47	54.47	68.35	1	0	7	7
17	-6.71	-66.02	66.02	81.40	0	0	0	0
18	-15.56	-77.21	77.21	94.93	0	0	0	0
19	-24.81	-88.55	88.55	108.74	0	0	0	0
20	-34.10	-79.26	79.26	110.78	0	0	0	0
21	-42.97	-65.22	65.22	111.09	0	0	0	0
22	-50.77	-47.96	47.96	111.33	0	0	0	0
23	-56.41	-26.07	26.07	111.48	0	0	0	0
24	-58.53	0.00	0.00	111.53	0	0	0	0

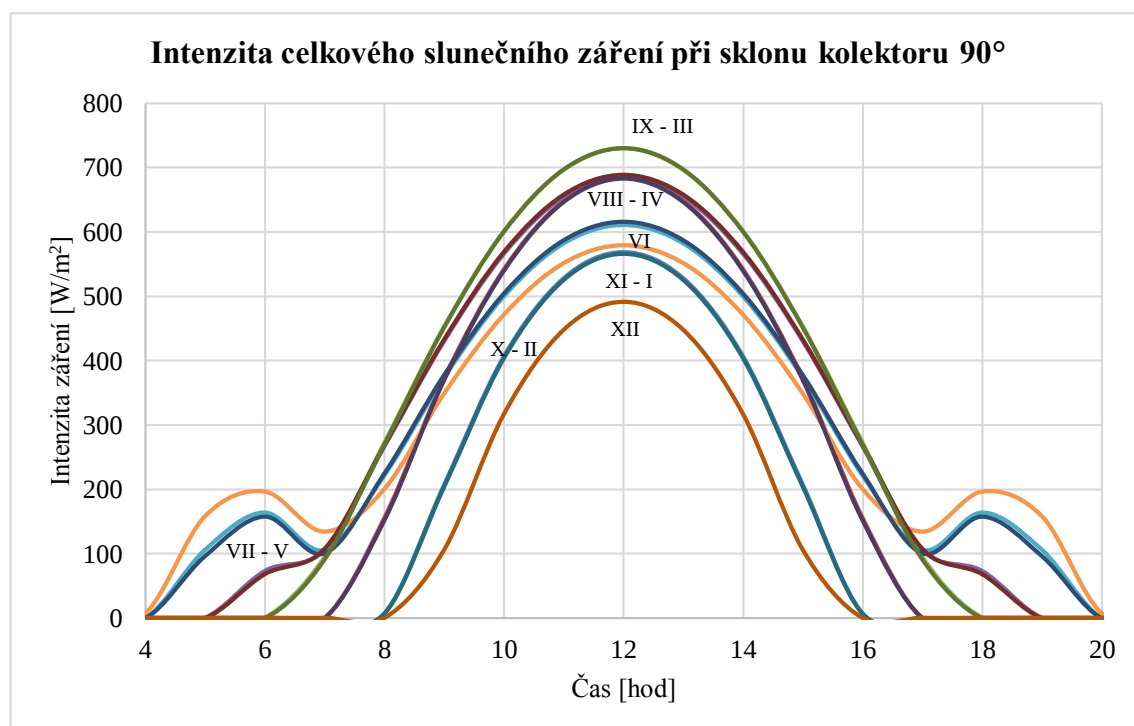
Tabulka 3.: Celková teoretická intenzita solárního záření pro měsíc leden ve městě Rhooon

Na následujících grafech jsou zobrazeny vypočtené průběhy intenzity celkového slunečního záření v jednotlivých měsících dle teoretického přístupu Dr. Cihelky ^[7].



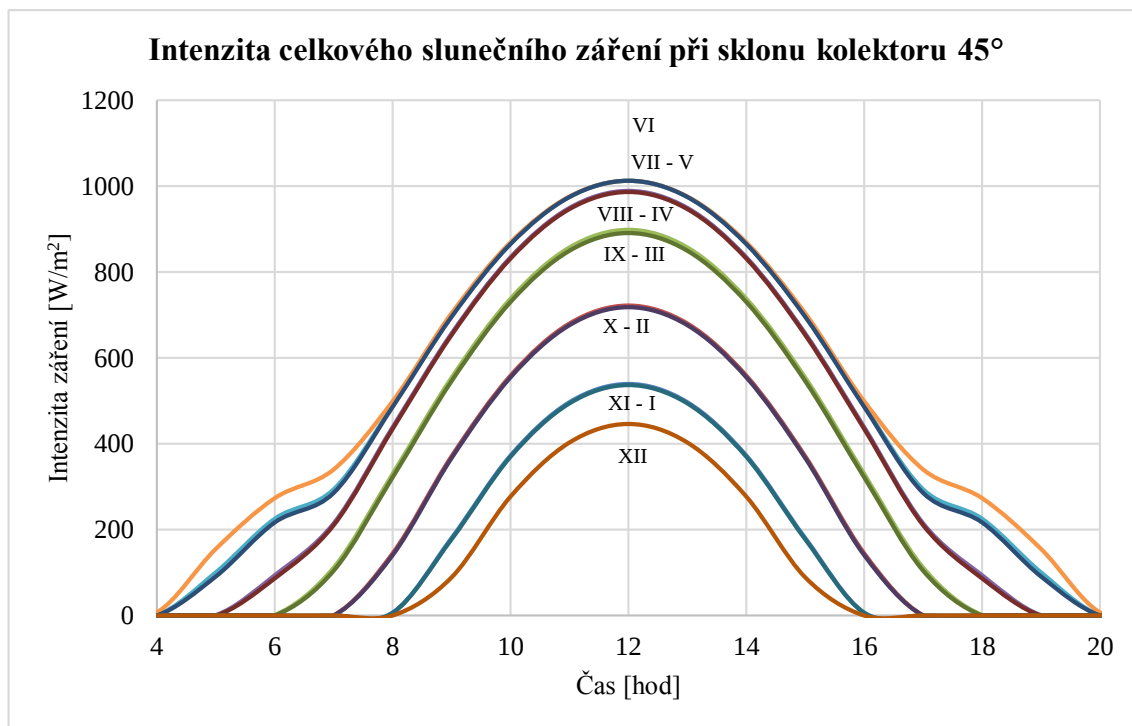
Graf 10.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 0°

Při sklonu kolektorů 90° je znát úbytek záření v měsíci srpen. Ale naopak je zde nárůst v ranních a odpoledních hodinách vlivem nízké polohy Slunce. Nejvíce tento efekt vidíme v měsících květen, červen a červenec. Tento sklon je ideální pro zimní provoz.



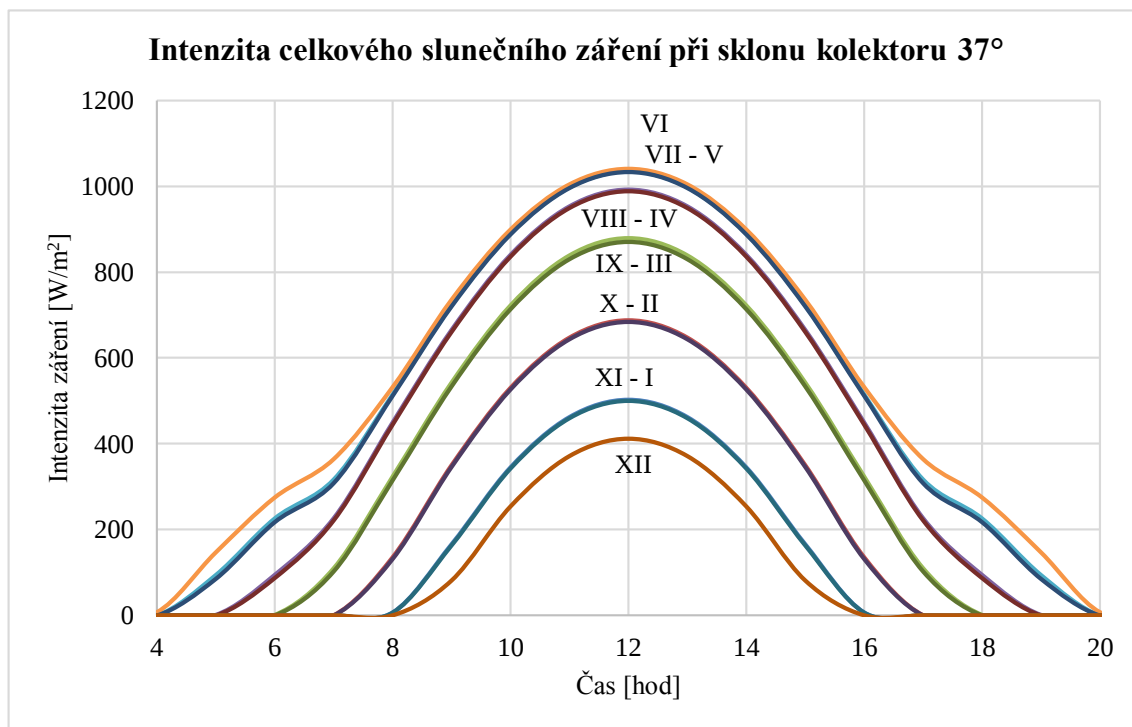
Graf 11.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 90°

Při sklonu kolektoru 45° se již začíná projevovat nárůst intenzity v ranních a odpoledních hodinách.



Graf 12.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 45°

Pro letní provoz je ideál použití sklonu v rozmezí 30° až 45° . Předpokládanou nejlepší volbou je sklon 37° . Jak bylo již odvozeno v obrázku č. 33.

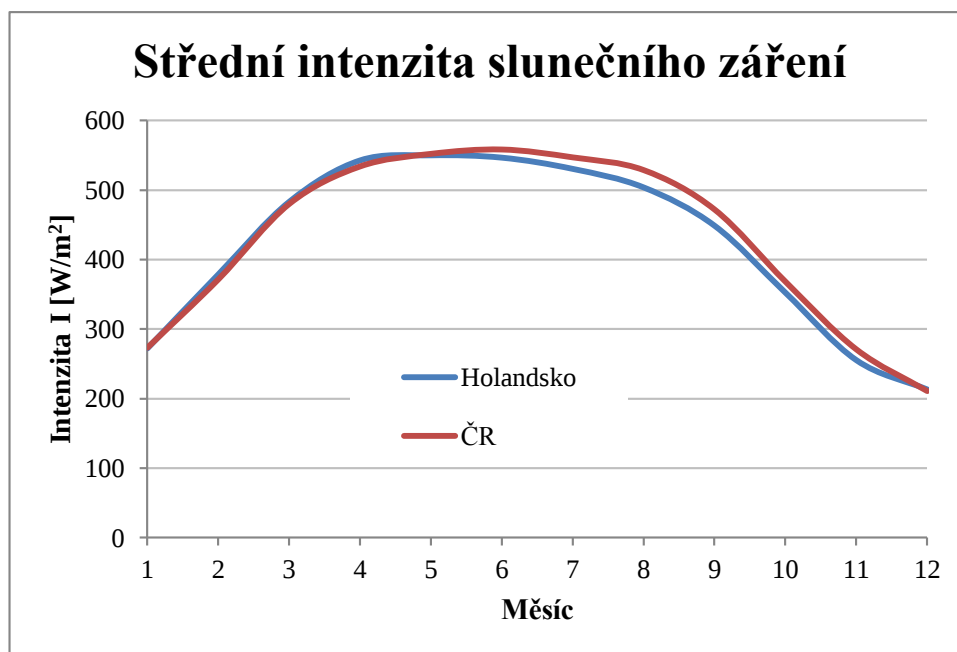


Graf 13.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 37°

9.3 Počet kolektorů

Pro optimální návrh a správné určení počtu solárních kolektorů je zapotřebí znát mnoho hodnot odvíjejících se od konkrétních klimatických podmínek. Jako je například intenzita slunečního záření, venkovní teplota v době slunečního svitu, účinnost kolektoru, teplota teplotonosné kapaliny, střední intenzita slunečního záření atd.

Na následujícím grafu je zobrazen průběh střední intenzity záření pro Holandsko a pro Českou republiku ^[7] (sklon kolektoru 30°, teoretický výpočet dle Dr. Cihelky). Nepatrný rozdíl vzniká v důsledku jiné zeměpisné šířky a tedy jinou teoretickou dobou slunečního svitu za den.



Graf 14.: Teoretická střední intenzita slunečního záření pro Holandsko a ČR ^[7]

Pro samotný návrh je vhodnější vycházet z průměrných hodnot dlouhodobého měření (několik let). Pro prvotní návrh jsem však zvolila teoretický výpočet veličin dle přístupu Dr. Cihelky.

Návrh se tedy odvíjí od energie dopadající na osluněnou plochu. K tomu je potřeba znát následující hodnoty:

$Q_{S,den,teor}$	... teoretické množství energie, pro typický den v měsíci [Wh/m ²]
$\tau_{teor,den}$	... teoretická doba slunečního svitu za den [hod/den]
$I_{stř}$	... střední intenzita slunečního záření [W/m ²]
$Q_{D,den}$	... energie difúzního záření [Wh/m ²]
$\tau_{skut,den}$	... skutečná doba slunečního svitu za den (průměrná hodnota) [hod/den]
τ	... poměrná doba slunečního svitu [-]
$Q_{S,den}$	... energie dopadající na osluněnou plochu za den [Wh/m ²]
n	... počet dnů v měsíci
$Q_{S,měs}$	... energie dopadající na osluněnou plochu za měsíc [kWh/m ²]

		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$Q_{S, den, teor}$	[Wh/m ²]	2462	4009	5951	7448	8555	8970	8483	7384	5861	3976	2441	1824
	[kWh/m ²]	2.46	4.01	5.95	7.45	8.56	8.97	8.48	7.38	5.86	3.98	2.44	1.82
$\tau_{teor, den}$	[hod/den]	8.3	9.93	11.92	13.67	15.75	16.68	16.18	14.58	12.62	10.58	8.77	7.78
$I_{stř}$	[W/m ²]	296.65	403.77	499.23	544.87	543.20	537.80	524.31	506.46	464.46	375.84	278.34	234.49
$Q_{D, den}$	[Wh/m ²]	393	617	967	1316	1588	1683	1574	1300	949	613	389	303
	[kWh/m ²]	0.39	0.62	0.97	1.32	1.59	1.68	1.57	1.30	0.95	0.61	0.39	0.30
$\tau_{skut, den}$	[hod/den]	1.3	2.8	3.2	5.2	6.7	6.1	6.3	6	4.3	3	1.9	1
$\tau = \tau_{skut} / \tau_{teor}$	[-]	0.16	0.28	0.27	0.38	0.43	0.37	0.39	0.41	0.34	0.28	0.22	0.13
$Q_{S, den} = \tau \cdot Q_{S, den, teor} + (1 - \tau) \cdot Q_{D, den}$	[kWh/m ²]	0.72	1.57	2.31	3.65	4.55	4.35	4.26	3.80	2.62	1.57	0.83	0.50
n		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{S, měs} = n \cdot Q_{S, den}$	[kWh/m ²]	22.22	45.64	71.46	109.47	141.12	130.44	132.19	117.92	78.69	48.56	25.02	15.46

Tabulka 4.: Výpočet energie dopadající na osluněnou plochu za měsíc pro teoretickou hodnotu střední intenzity slunečního záření

Vypočtená energie dopadající na osluněnou plochu (sklon 37° a teoretická hodnota střední intenzity záření) za rok je 938,17 kWh/m².

Od skutečné hodnoty pro rok 2012 udávané meteorologickým institutem ^[18] se liší z důvodu rozdílného sklonu plochy a přesného získávání hodnot měření v dané oblasti pro jednotlivé dny.

Pro účinnost kolektoru musíme znát teplotu t v době slunečního svitu (denní průměrné teploty pro vybraný den v měsíci ^[30]):

			leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
$t_{stř}$	střední denní teplota	[°C]	5,47	1,11	8,75	8,55	14,08	14,99	17,27	18,77	14,92	11,23	7,35	5,52
t_{max}	maximální denní teplota	[°C]	10	6	15	12	23	18	25	22	13	19	11	11
t_{min}	minimální denní teplota	[°C]	5	0	3	5	13	13	13	14	8	13	6	6
$\Delta t = 0,5 \cdot \Delta t_{max} = 0,5 \cdot (t_{max} - t_{min})$			2,5	3	6	3,5	5	2,5	6	4	2,5	3	2,5	2,5
τ	časový úhel	[°]	0	ve dvanáct hodin										
$t = t_{stř} + \Delta t \cdot \cos(\tau - 30^\circ)$		[°C]	5,86	1,57	9,68	9,09	14,85	15,38	18,20	19,39	15,31	11,69	7,74	5,91

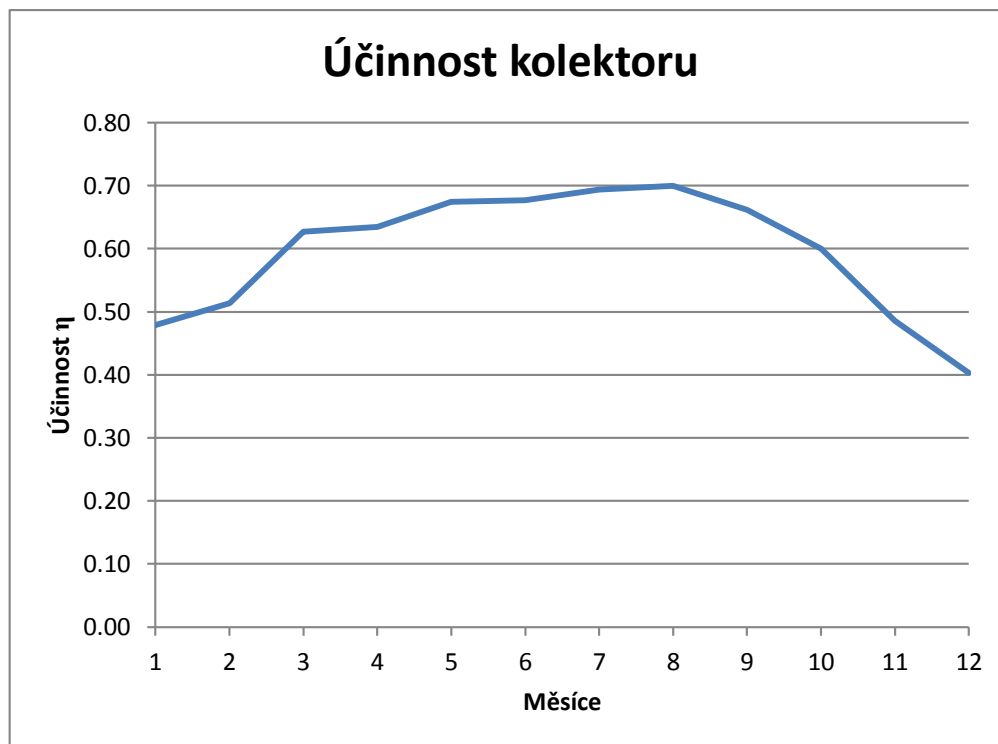
Tabulka 5.: Teplota v době slunečního svitu

Výsledná účinnost pro jednotlivé měsíce vypočítaná teoretickým přístupem Dr. Cihelky a na základě vlastností vybraného kolektoru poskytnuté výrobcem:

η	optická účinnost	[-]	77											
$U_1(a_1)$	lineární součinitel tepelné ztráty prostupem	[W/m ² ·K]	3.216											
$U_2(a_2)$	kvadratický součinitel tepelné ztráty sáláním	[W/m ² ·K ²]	0.015											
G	sluneční ozáření 37°	[W/m ²]	297	404	499	545	543	538	524	506	464	376	278	234
t_v	střední teplota v době slunečního svitu	[°C]	5.86	1.57	9.68	9.09	14.85	15.38	18.20	19.39	15.31	11.69	7.74	5.91
t_A	střední teplota teplonosné kapaliny	[°C]	30											
η_k	účinnost kolektoru	[-]	0.48	0.51	0.63	0.63	0.67	0.68	0.69	0.70	0.66	0.60	0.49	0.40

Tabulka 6.: Účinnost kolektoru (sklon 37°)

Účinnost solárního kolektoru (absorbéru) se liší pro jednotlivé měsíce. Největší přínos má v letních měsících (0,70), naopak tomu je v zimních měsících (0,4).



Graf 15.: Teoretická účinnost kolektoru při sklonu 37 °

Na základě intenzity slunečního záření a účinnosti kolektoru můžeme vypočítat měrný tepelný tok zachycený absorbérem pro vybraný den v měsíci:

měsíc	[kWh/m ²]	měsíc	[kWh/m ²]
leden	0,24	červenec	2,68
únor	0,62	srpen	2,38
březen	1,26	září	1,51
duben	2,05	říjen	0,76
květen	2,75	listopad	0,28
červen	2,67	prosinec	0,11

Tabulka 7.: Měrný tepelný tok pro vybraný den v měsíci

Pro výpočet nutné aperturní plochy a počtu solárních kolektorů musíme znát měsíční potřebu tepla na přípravu TV (celková roční potřeba v odstavci 8. Profil užívání).

$$Q_{TV,den} = (1 + z) * \frac{V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 * 10^6} \quad (\text{B. 12.})$$

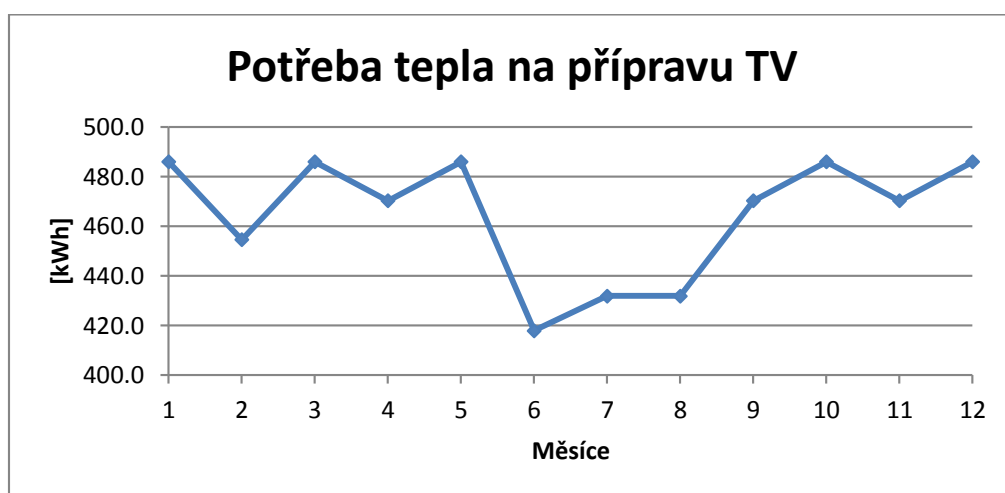
ztráta zásobníku	z =	1
počet osob	=	3
potřeba vody na osobu	=	50 [l]
potřeba vody na den	$V_{TV,den} =$	0,15 [l]

hustota vody	$\rho =$	1000 [kg/m ³]
měrná tepelná kapacita vody	$c =$	4,18 [kJ/(kg·K)]
teplota teplé vody	$t_{TV} =$	55 [°C]
teplota studené vody - zima	$t_{SV1} =$	10 [°C]
teplota studené vody - léto	$t_{SV2} =$	15 [°C]

Zimní období	denní potřeba tepla	$Q_{TV,den,Z}$	15,675 [kWh]
Letní období	denní potřeba tepla	$Q_{TV,den,L}$	13,93 [kWh]

Měsíční potřebu tepla lze získat vynásobením denní potřeby tepla příslušným počtem dnů v měsíci.

$$Q_{TV,m} = Q_{TV,den} \cdot n \quad (\text{B. 13.})$$



Graf 16.: Měsíční potřeba tepla na přípravu TV

měsíc	[kWh]	měsíc	[kWh]
leden	485,93	červenec	431,93
únor	454,58	srpen	431,93
březen	485,93	září	470,25
duben	470,25	říjen	485,93
květen	485,93	listopad	470,25
červen	418,00	prosinec	485,93

Tabulka 8.: Měsíční potřeba tepla

Pro výpočet velikosti aperturní plochy musíme započítat i velikost ztrát solární soustavy. Pro přípravu TV a předpokladu, že celková aperturní plocha bude do 10 m², bude ztráta činit $p = 0,2$. Aperturní plochu určujeme pro měsíc, ve kterém požadujeme solární pokrytí. Volím měsíc duben.

Celková aperturní plocha:

$$A_k = \frac{(1 + p) \cdot Q_{TV,den}}{q_k} = 8,12 \text{ m}^2$$

Jako příklad volím solární kolektor deskový Logasol SKN 4.0 ^[34] od firmy Buderus (viz technický list v příloze A. 6.).

Velikost kolektoru: 2017 x 1175 x 87 mm

Aperturní plocha jednoho kolektoru: $A_{k1} = 2,25 \text{ m}^2$

Počet kolektorů: $P_k = \frac{A_k}{A_{k1}} = 3,6 \text{ ks}$... volím 3 ks

Skutečná aperturní plocha: $A_{ks} = A_{k1} \cdot P_k = 6,75 \text{ m}^2$

Pomocí těchto hodnot vypočteme měsíční teoretický využitelný tepelný zisk a využitelné měsíční tepelné zisky solární soustavy.

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot Q_{T,den} \cdot A_{ks} \cdot (1-p) \quad [\text{kW/h}]$$

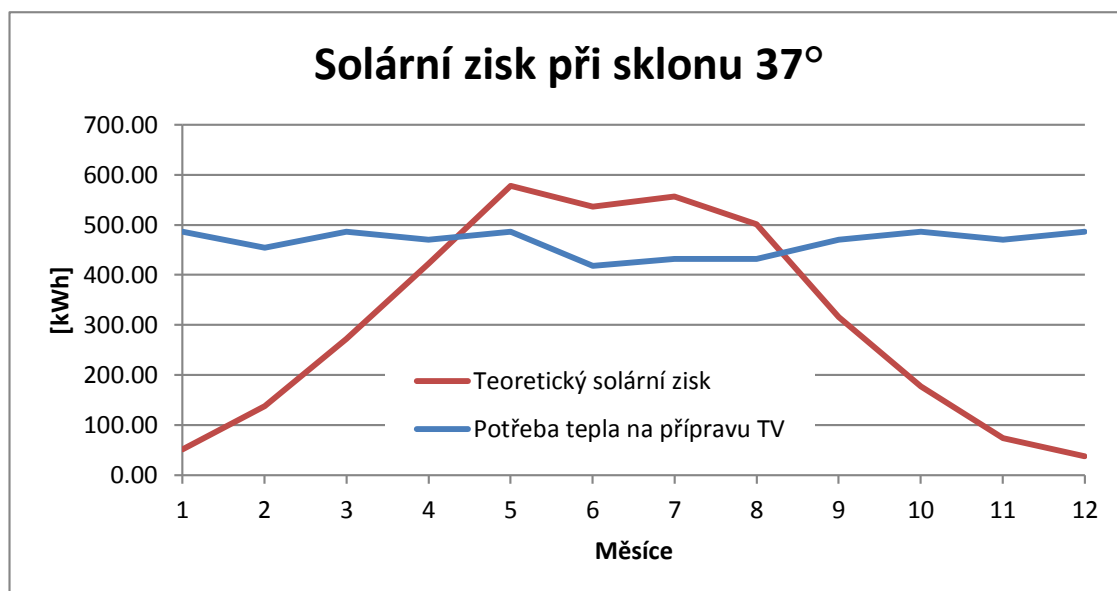
$$Q_{s,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,m}) \quad [\text{kW/h}]$$

	$Q_{k,u}$	$Q_{s,u}$		$Q_{k,u}$	$Q_{s,u}$
leden	51.71	51.71	červenec	431.93	431.93
únor	137.48	137.48	srpen	431.93	431.93
březen	272.05	272.05	září	316.11	330.00
duben	421.98	421.98	říjen	176.98	169.39
květen	577.79	485.93	listopad	73.86	57.45
červen	536.14	418.00	prosinec	37.80	22.14

Tabulka 9.: Tepelný zisk solární soustavy

Solární pokrytí $f = \Sigma Q_{ss,u} / \Sigma Q_{p,m} \cdot 100 = 69,08 \quad \%$

Přebytek energie $g = \Sigma Q_{k,u} - \Sigma Q_{ss,u} = 404,06 \text{ kWh}$

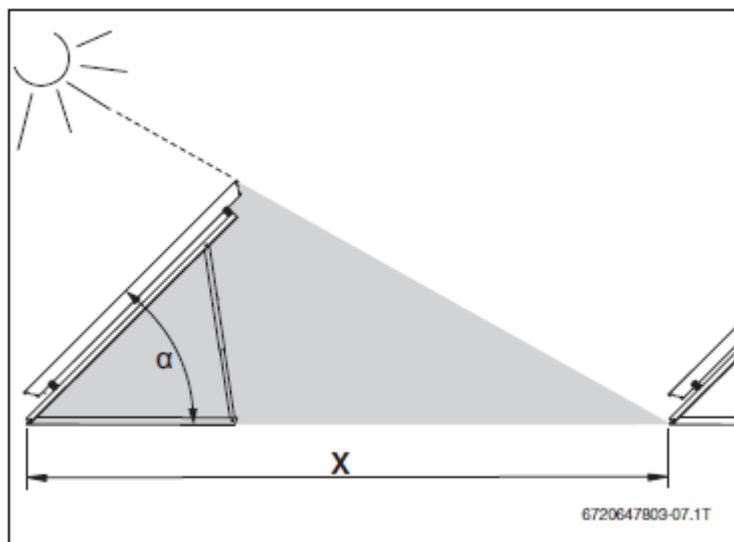


Graf 17.: Teoretický solární zisk při sklonu kolektoru 37°

V nejchladnějších měsících (listopad, prosinec, leden a z části únor) je příspěvek slunečních kolektorů zanedbatelný, proto energii musí dodávat především klasický zdroj. Při volbě počtu kolektorů 2 ks, bylo by solární pokrytí pouze 51 %. Při vyšším počtu (více jak 3 ks) by byl návrh neekonomický.

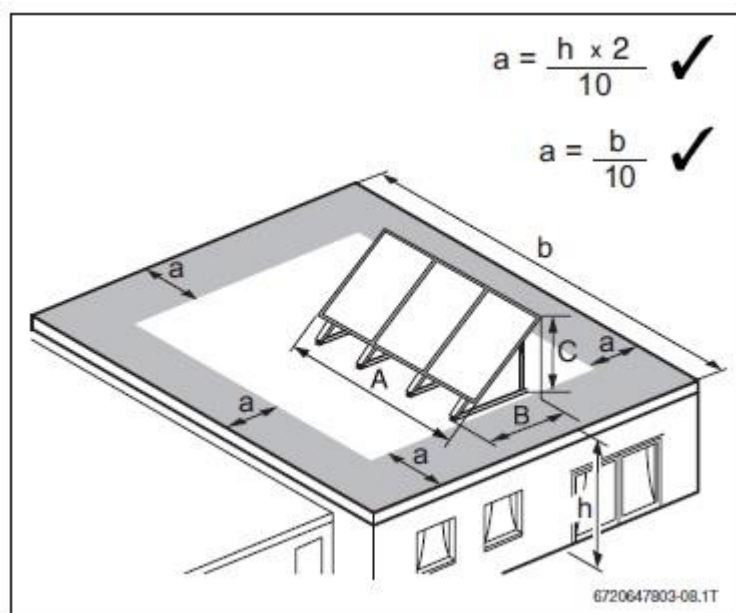
9.4 Umístění

Na ploché střeše je omezen počet kolektorů rozlohou střechy. Musí se zvolit jen takový počet kolektorů, při kterém nebude docházet k vzájemnému stínění. Ke stínění dochází od druhé řady dále. První řada není stíněna nikdy. Stínění může být větší především v zimním období (říjen až únor). Ovlivňuje to především výška slunce. Při vhodně zvolené rozteči se kolektory od března do září nestíní. Druhým řešením je navýšení druhé řady, ale v možnostech tohoto RD si myslím, že by to nebylo vhodné řešení. Navrhuju tedy zvolit pouze jednu řadu.



Obr. 34.: Stínění kolektoru ^[13]

Můžeme zvolit horizontální nebo vertikální umístění kolektorů. Horizontální kolektory mají rozteč řad menší, ale počet řad a podpůrných konstrukcí je více. Střecha je více zaplněna. U vertikálních kolektorů je na střeše více místa pro obsluhu a pro daný RD bude vhodnější, vzhledem k velikosti využitelné plochy.



Obr. 35.: Odstup kolektorů ^[13]

Dle podkladů výrobce ^[13] a obrázku č. 35., je pak nutný odstup kolektorů následující:

počet kolektorů	3	[ks]
míra A	3,58	[m]
míra B	1,63	[m]
míra C	1,412	[m]
šířka střechy (b)	8,491	[m]
výška budovy (h)	3,15	[m]
šířka kolektorů (A)	3,58	[m]
šířka odstupu od okraje střechy (a)	0,63	[m]
celková potřebná šířka	4,84	[m]

Tabulka 10.: Odstup kolektorů

Zvolený počet kolektorů tedy lze umístit na plochou střechu nad kuchyň. I přes svou velikost a nejnižší výšce Slunce nebudu vrhat stín na střešní okna druhého nadzemního podlaží. Pokud bychom chtěli kolektory umístit nad garáž, museli bychom volit kolektory pouze svislé. Vzhledem k jejich velikosti a příslušného stínění by mohly být za sebou umístěny maximálně kolektory dva. Pro vodorovné kolektory by nebyla zachována potřebná vzdálenost od okraje stavby. A jak jsem již dříve uvedla, v dopoledních hodinách by docházelo ke stínění od stávající stavby 2.NP rodinného domu.

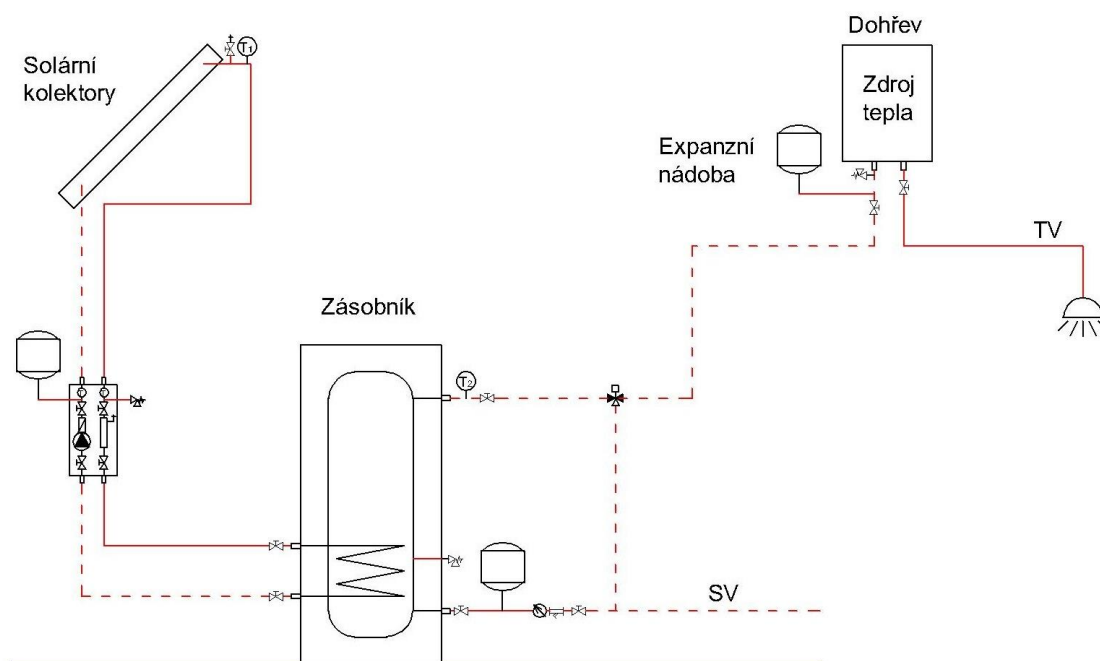
Požadavek by však byl na odstranění, nebo přesunutí paraboly satelitu. Přesné rozmístění kolektorů na střeše je ve výkresu V. 6.



Obr. 36.: Umístění kolektorů na plochou střechu

9.5 Systém zapojení

Celý systém je navržen s využitím současného zdroje tepla. Primárním zdrojem tepla pro přípravu TV je průtokový ohřívač v kotli v kotelně. Sekundárním zdrojem tepla pro ohřev TV jsou solární kolektory osazené na ploché střeše garáže orientované směrem na jih. Odtud předehřátá voda směřuje do solárního zásobníku TV umístěné v garáži a dále pak do plynového kotle dle potřeby.



Obr. 37.: Navržené schéma zapojení

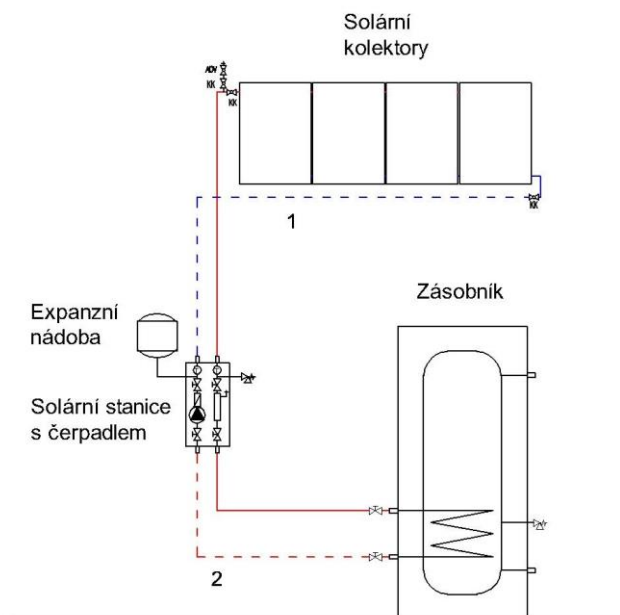
Celý systém přípravy bude ovládán pomocí regulace vykreslené ve výkresu V. 4. Teplotní čidla na přívodu od kolektorů a v solárním zásobníku by měla zajistit sepnutí a vypnutí oběhového čerpadla v kolektorovém okruhu. Pokud je teplota vody v zásobníku nižší než teplota v kolektorech, oběhové čerpadlo se zapne. Pokud teplotní čidlo v zásobníku zaznamená hodnotu vyšší než je nastavená teplota TV u kotle (předpoklad 55 °C), nebude tedy dále probíhat dohřev v průtokovém ohřívači. V případě příliš vysoké teploty v zásobníku i v kolektorech a žádného odběru, bude odvod TV napojen na kanalizaci a zároveň dojde k otevření směšovacího trojcestného ventilu. Tím dojde k míšení ohřáté vody ze zásobníku a studené vody z řadu.

Kotel je současně využíván jako zdroj tepla pro pokrytí tepelných ztrát objektu. V případě využití sekundárního zdroje tepla, solárních kolektorů, i pro vytápění, bude MaR nastaveno jako v předešlém případě. Navíc systém bude doplněn o další okruh napojený na otopnou větev v 1.NP. Pokud nebude odběr TV a bude potřeba ohřev otopné vody, otevře se trojcestný ventil na zpátečce a do kotle bude proudit předehřátá voda ze solárního zásobníku. Vše je zobrazeno ve výkresu V. 5. Systém by také mohl být napojen na přívod studené vody do myčky na nádobí v kuchyni. Pro tento RD však tyto varianty nevyužijeme (navýšení nákladů na pořízení).

Pro regulaci doporučuji kabelové čidlo teploty QAZ21.681/101 pro solární kolektor - s měřícím elementem LG-Ni 1000 pro regulaci teploty v solárním zařízení, viz příloha A. 5. Do zásobníku předehřáté vody pak ponorné teplotní čidlo QAE2122.013 včetně svěrného šroubení s přípojovacím závitem G ½ A. Délka ponoru max. 130 mm. Viz příloha A. 5.

9.6 Dimenzování potrubí solárního systému

Rozdělení základního okruhu na 2 úseky:



Obr. 38.: Rozdělení základního okruhu na úseky

9.6.1 Nemrznoucí kapalina

Pro RD volím vysoký průtok nemrznoucí teplotosné kapaliny 50 l/(hod·m²). Pro celoročně provozovanou solární soustavu navrhují nemrznoucí směs vody a propylenglykolu (např. Solaren EKO) s ohledem na ochranu soustavy v zimním období před poškozením mrazem. Solaren EKO je netoxická, ekologicky nezávadná, nezapáchající kapalina s nízkou teplotou tuhnutí (-31 °C). Obsažené inhibitory koroze značně prodlužují životnost solárního systému (minimálně šest let). Kapalina je obohacena o hořkou chuťovou přísadu. Jde o bezpečnostní prvek pro případ havárie a průniku do okruhu pitné vody.

Tepelná kapacita teplotosné směsi	$c = 3650 \text{ [J/(kg·K)]}$
Hustota teplotosné směsi	$\rho = 1032 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
Průtok teplotosné směsi	$V = 50 \text{ [l/(hod·m}^2\text{)]}$
Ohřev tepl. látky při jednom průtoku	$\Delta t = Q/(V \cdot \rho \cdot c) = 7.6 \text{ [°C]}$
Střední intenzita slun. záření v dubnu	$I = 545 \text{ [W/m}^2\text{]}$
Účinnost kolektoru	$\eta = 0.63 \text{ [%]}$
Celková aperturní plocha	$A = 6,75 \text{ [m}^2\text{]}$
Energie odváděná z kolektorové plochy	$Q = \eta \cdot I \cdot A = 2334 \text{ [W]}$

Při jednom průtoku se nemrznoucí směs v měsíci duben (největší měsíční střední intenzita slunečního záření dle teoretického výpočtu) ohřeje o 7,6 °C. Energie odváděná v měsíci duben z celkové aperturní plochy je 2,334 kW.

9.6.2 Určení průtoku, dimenzí a tlakových ztrát

Úsek	Průtok	Dxt	Tlaková ztráta v 1 m potrubí	Rychlost	Délka
	[l/hod]		R [Pa/m]	v [m/s]	l [m]
1	293	18x1	314.8	0.537	12.93
2	293	18x1	314.8	0.537	1.5

Úsek	Ztráta třením	Ztráta vřazenými odpory (pro tvarovky cca 30 % tření) [Pa]	Ztráta kolektorů, armatur, průtokoměru apod. [Pa]	Celkem ztráta
	$\Delta p_{tr} = R \cdot l$ [Pa]			[Pa]
1	4070.364	1221.11	900	6191.47
2	472.2	141.66	16000	16613.86
			Celkem	22805.33

Tabulka 11.: Dimenze a tlakové ztráty

Celková tlaková ztráta základního okruhu je 22,8 kPa. Potrubí by bylo měděné s tepelnou izolací např. Aeroflex. Síla stěny izolace 20 mm, odolná vůči UV záření a vysoké teplotě v potrubí. (Druhu variantou by bylo předizolované nerezové potrubí Solarflex A – DUO v kaučukové izolaci EPDM.)

9.7 Zařízení solárního systému

Čerpadlová skupina

Pro solární systémy v RD jsou vhodnější čerpadlové skupiny, které již od výroby obsahují sestavu více komponent. Volím dvoutrubkovou čerpadlovou skupinu S2 Solar[®] od firmy Regulus^[22]. Skládá se z:

- Oběhové čerpadlo elektronicky regulované
- Tlakoměr, teploměry topné a vratné větve
- Solární pojistný ventil 6 bar
- Napouštěcí a vypouštěcí ventily
- Uzavírací ventil, zpětný ventil solární
- Separátor vzduchu
- Průtokoměr s regulací průtoku
- Výstup pro připojení expanzní nádoby

Oběhové čerpadlo^[32] Wilo-Stratos ECO-STG 15/1-5-130

Technické údaje: Příloha A. 8.

Zásobník předeřáté vody

Pro stanovení velikosti zásobníku vycházím z potřeby TV na den a celkové plochy solárních kolektorů.

potřeba TV na den $V_{TV,den} = 0,15 \text{ m}^3$

velikost zásobníku $V_z = 1,3 \cdot V_{TV,den} = 0,195 \text{ m}^3$

Akumulační zásobník volím o velikosti 300 l. Jako příklad volím akumulční zásobník PHW 300 značky REFLEX. Technický list v příloze A. 7.

Expanzní nádoba solárního okruhu

Návrh EN vychází z objemu kapaliny v systému, součinitele objemové roztažnosti, plnicím tlaku a maximálním provozním přetlaku:

$$V_{EN} = (V_S + \beta \cdot V + V_k) + \frac{p_e + 100}{p_e - p_o} \quad (\text{B. 14.})$$

objem kapaliny v 1 absorberu	$V_{k1} =$	0.94	[l]
objem kapaliny v kolektorech	$V_k =$	$3 \cdot V_{k1} =$	2.82 [l]
objem kapaliny v potrubí	$V_p =$	$0.314 \cdot l =$	4.53 [l]
celková délka potrubí	$l =$	14.43	[m]
objem kapaliny v zařízení (výměníku)	$V_{zař} =$	8.4	[l]
celkový objem soustavy	$V = V_k + V_p + V_{zař} =$	15.75	[l]
objem teplonosné látky v EN	$V_s =$	1-2 % $V =$	0.32 [l]
		min 2 l =	2 [l]
součinitel objemové roztažnosti	$\beta =$	0.1	[-]
plnicí tlak	$p_o = h_s \cdot \rho \cdot g + p_d + p_{\check{c}} =$	159.37	[kPa]
výška solárního systému	$h_s =$	3	[m]
hustota teplonosné směsi	$\rho =$	1032	[kg/m ³]
gravitační konstanta	$g =$	9.81	[m/s]
minimální tlak	$p_d =$	100	[kPa]
jmenovitý výkon čerpadla	$p_{\check{c}} =$	29	[W]
tlaková odolnost nejslabšího prvku	$p_k =$	6	[bar]
otevírací přetlak pojistného ventilu	$p_{ot} =$	$5 < p_k < 1 \text{ MPa}$	[bar]
maximální provozní přetlak	$p_e =$	450	[kPa]
velikost expanzní nádoby	$V_e =$	12.10	[l]

Navrhuji expanzní nádobu: Reflex S 12

Objem nádoby: 12 l

Technické údaje: Příloha A.9.

Ostatní zařízení

Mezi ostatní zařízení nutná k bezpečnému provozu soustavy patří:

- expanzní nádoba solárního zásobníku umístěná na potrubí studené vody
- pojistný ventil a trojcestný směšovací ventil umístěný v okruhu solárního zásobníku
- plastové potrubí od solárního zásobníku vedené pod podlahou 1.NP a následně komínovou šachtou k průtokovému plynovému kotli umístěným ve 2.NP.

10 TECHNICKÁ ZPRÁVA

Úvod

Projekt řeší solární systém pro předehřev teplé vody v rodinném domě. RD se nachází v Nizozemském království ve městě Rhoon. Objekt je dvoupodlažní. Trvale zde bydlí 3 osoby. Návrh řešení respektuje připomínky investora. Instalace solárního zařízení je vyvolána potřebou investora uspořít finance týkající se přípravy teplé vody.

Podklady

Podkladem projektu byla výkresová dokumentace vytvořená dodatečně na základě osobní účasti na objektu a zaměření.

Koncepce řešení

V současnosti je objekt zásobován teplou vodou připravovanou v průtokovém ohřívači plynového kotle typu Vaillant Thermocompact 2000 VCW 255/2 E. Denní spotřeba teplé vody se předpokládá 50 l na osobu, celkem tedy 0,15 m³.

Pro předehřev TV jsou navrženy solární kolektory firmy Logasol. Hlavním prvkem tohoto zdroje jsou 3 kusy slunečních plochých deskových kolektorů typu SKN 4.0 o absorpční ploše jednoho kolektoru 2,25 m², které budou dle klimatických podmínek nabíjet nově osazený akumulční zásobník PHW 300 firmy REFLEX (objem 300 l). Tento zásobník obsahuje jeden spirálový výměník. Solární systém je navržen tak, aby předehřátá voda ze solárního zásobníku putovala do průtokového ohřívače na vstupní hrdlo studené vody a zde byla dohřáta na požadovanou teplotu.

Kolektory budou umístěny na ploché střeše objektu na typových držácích, pomocí nosných trubek a nosných trojúhelníků. Budou orientovány na jih ve sklonu cca 37°. Kolektory budou zapojeny dle „Tichelmannova systému“. Kolektory jsou spojeny do jednoho pole. Oběh nemrznoucí směsi v tomto okruhu bude zajišťovat čerpadlová skupina S2 Solar od firmy Regulus, umístěná v blízkosti zásobníku v garáži, ovládaná solární regulací.

Vlastní topný solární systém je navržen s nuceným oběhem. Nucený oběh topného média bude zajišťovat oběhové čerpadlo Wilo-Stratos ECO-STG 15/1-5-130 v solární jednotce. Celý systém je hydraulicky vyregulován a seřízen na průtok teplotonosného média 5,6 l/min.

Rozvod potrubí

Připojení solárních kolektorů od solární stanice bude pomocí dvou předizolovaných měděných trubek DN 18x1. Rozvody budou v nejvyšším místě u solárních kolektorů od vzdušněny pomocí montážního od vzdušňovacího souboru a v nejnižším místě bude systém odvodněn pomocí vypouštěcího kohoutu. Při propojení nově osazeného zásobníku TV se solární stanicí bude použito měděného potrubí DN 18x1 s izolací ze syntetického kaučuku. Napojení předehřáté vody na stávající rozvody a propojení ze zásobníku bude provedeno z trubek plastových, tepelně izolovaných.

Potrubí bude upevněno pomocí univerzálních závěsných prvků ke stropu a na stěny v objektu. Dilatace potrubí v ohybech bude přirozená (případně budou použity kompenzátory).

Zabezpečovací zařízení a pojistná zařízení

Solární systém pracuje v tlakovém systému, tzn. je potřeba pojistného ventilu a expanzní nádoby. Pojistné zařízení solárního okruhu bude tvořit pojistný ventil o otevíracím přetlaku 500 kPa, který bude umístěn na výstupu na střechu. Expanzní zařízení solárního systému bude tvořit tlaková expanzní nádoba o objemu 12 litrů (6 barů) připojená také na výstup na střechu. Systém bude napuštěn až do nejvyššího místa bez tlaku, poté bude odečteno na manometru solární jednotky skutečný tlak vodního sloupce a systém bude natlakován na tuto zjištěnou hodnotu navýšenou o 50 kPa. Napojení zásobníkové nádrže TV musí být provedeno: uzávěr, zpětná klapka, vypouštěcí kohout, pojistný ventil.

Regulace

Chod solárního systému a ohřev TV bude řízen automaticky regulátorem solárního zařízení, jež bude porovnávat teplotu vody v zásobníku a teplotu vody v kolektorech. Na základě rozdílu teplot zapíná nebo vypíná oběhové čerpadlo solární jednotky a tím zajišťuje proudění kapaliny z kolektorů do výměníku solárního zásobníku. Regulace také umožňuje nastavení maximální požadované teploty v solárním zásobníku a při dosažení této teploty se systém zastaví.

Izolace potrubí

Potrubí pro propojení solárních kolektorů a solární skupiny je izolováno izolací s ochranou proti UV záření ze syntetického kaučuku (Aeroflex tl. 20 mm). Potrubí k připojení akumulčního zásobníku TV a potrubí na propojení mezi zásobníkem a kotlem bude použita izolace Mirelon.

Ostatní profese

MaR

- osazení solární stanice včetně prvků měření a regulace a propojení se solárními kolektory a se zásobníkem TV
- zapojení čidel teploty a tlaku
- zapojení směšovacích ventilů

Stavba

- koordinace profese
- provedení prostupů pro potrubí solárního systému střechou a pro propojení zásobníků
- utěsnění prostupů střechou po montáži solárního systému

Zdravotechnika

- propojení zásobníku TV a plynového kotle
- napojení zásobníku na rozvody užitkové vody
- odvod odkapu z pojistného ventilu do kanalizace

Zkoušky a uvedení do provozu

Před uvedením do provozu musí být každé smontované zařízení propláchnuto, odvzdušněno a vyzkoušeno. Provádí se nastavení seřizovacích a regulačních armatur. O provedení zkoušek se provádí zápis. Akumulační nádrž a kolektory zkouší výrobce a podmínky zkoušky uvádí v průvodní dokumentaci výrobku.

K naplnění systému se použije plnicí stanice s nádobou na solární kapalinu a plnicím čerpadlem. Pro naplnění systému je nutné použít nemrznoucí teplotnosnou kapalinu do slunečních kolektorů. Na napouštěcí ventil se napojí přívodní hadice. Vratná hadice je připojena na vypouštěcí ventil. Nalije se dostatečné množství solární kapaliny do nádoby plnicí stanice, zapne se plnicí čerpadlo a naplní se solární systém.

Pomocí plnicí stanice se proplachuje solární okruh nejméně 15 minut. Aby se dokonale odstranil vzduch a případné nečistoty ze systému.

Odvzdušnění systému se provádí při běžícím plnicím čerpadle a uzavřeném vypouštěcím ventilu. Tím se zvýší tlak asi na 5 bar. Následně se zavře napouštěcí ventil a vypne plnicí čerpadlo. Otevře se regulační šroub na průtokoměru. Oběhové čerpadlo nastavíme na nejvyšší stupeň a několikerým zapnutím a vypnutím odvzdušníme systém (odvzdušněné čerpadlo pracuje téměř bezhlučně). Průběžně sledujeme tlak v systému a při jeho poklesu jej zvýšíme zapnutím plnicího čerpadla a otevřením napouštěcího ventilu na 5 bar. Odvzdušnění se opakuje tak dlouho, dokud plovák v regulačním ventilu průtokoměru nezaujme při provozu čerpadla stálou polohou a nebudou se objevovat v průtokoměru žádné bublinky. Poté se nechá oběhové čerpadlo alespoň 5 minut běžet. Po odvzdušnění se automatický odvzdušňovací ventil musí uzavřít.

Zkouška těsnosti se provádí při tlaku 5 bar prohlédnutím celého systému (všechny spoje, sluneční kolektory, armatury atd.). Nesmějí se projevit viditelné netěsnosti, ani znatelný pokles tlaku v soustavě.

Pro uvedení do provozu čerpadlo nastavíme na požadující rychlost a průtok. Na napouštěcí a vypouštěcí ventily se našroubují uzávěry, po odpojení hadice plnicí stanice. Kulový ventil se nad čerpadlem zcela otevře.

Zařízení opět odvzdušňujeme po několika dnech provozu.

Celoroční solární systém nevyplachujeme vodou, z důvodu vznikajícího rizika poškození soustavy mrazem (voda by se zcela nevyprázdnila).

Závěr

Při realizaci díla a dále při provozu, údržbě a opravách zařízení je nutné dodržovat veškerá bezpečnostní opatření vyplývající z platných právních předpisů, souvisejících norem a kmenových norem jednotlivých elementů. V ČR jde především o nařízení vlády č. 591/2008 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích a dále je to nařízení vlády č. 362/2005 Sb. o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky.

Práce smí provádět pouze firma nebo organizace, která má veškerá platná oprávnění k provádění těchto činností.

Zařízení jsou navržena tak, aby jejím provozem byl minimalizován vliv na životní prostředí. Veškeré odpady vzniklé při realizaci a montáži, budou likvidovány s ohledem na možnost recyklace.

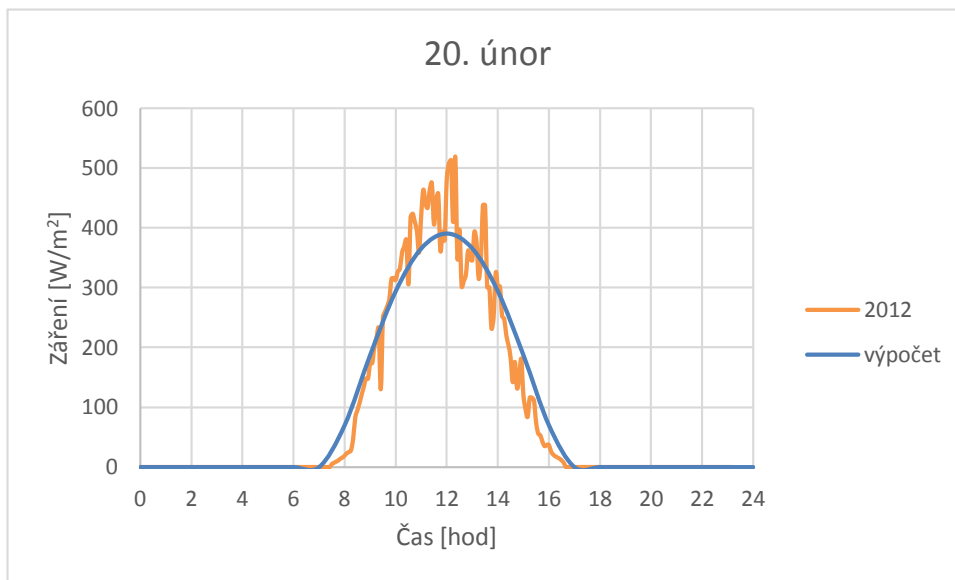
11 INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ 2012

Předchozí návrh může být nepřesný. Teoretická intenzita slunečního záření větší a tím získaná energie ze solárních kolektorů nadhodnocená. Pro výpočet energie dopadající na plochu kolektoru jsem počítala s průměrnou poměrnou dobou slunečního svitu (dle metodiky Dr. Cihelky ^[7]). Ta však nezohledňuje přesnou dobu skutečného slunečního svitu. Pokud je tedy zamračeno v poledne, má intenzita difuzního slunečního záření větší význam než v dopoledních a večerních hodinách. Celková intenzita je tedy ve výsledku nižší.

Přesnou dobu slunečního svitu získáme z měření z meteorologických stanic. Pro oblast Rotterdamu jsou např. na stránkách Wunderground ^[30], jsou volně stažitelné. Reálné hodnoty slunečního záření roku 2012 však také nejsou vhodné pro návrh solárního systému. Nelze předpokládat, že rok 2012 a vybrané dny jednotlivých měsíců tohoto roku, jsou odpovídajícími hodnotami pro roky ostatní. Tyto hodnoty však můžeme srovnávat s teoretickým výpočtem. Pro přesnější návrh je nutné vycházet z průměrných hodnot za několikaleté období.

Historické údaje klimatických dat pro Rotterdam lze na internetových stránkách Wunderground získat v časovém kroku cca 5 minut (pro každý den to je celkem 280 hodnot). Pro porovnání s teoretickými vypočtenými hodnotami je nutné tyto údaje dále zpracovat.

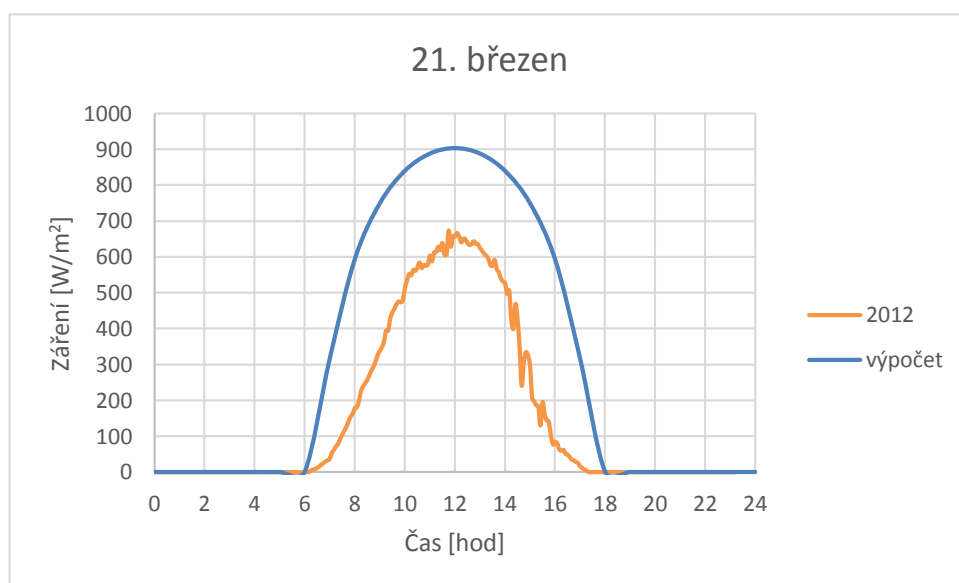
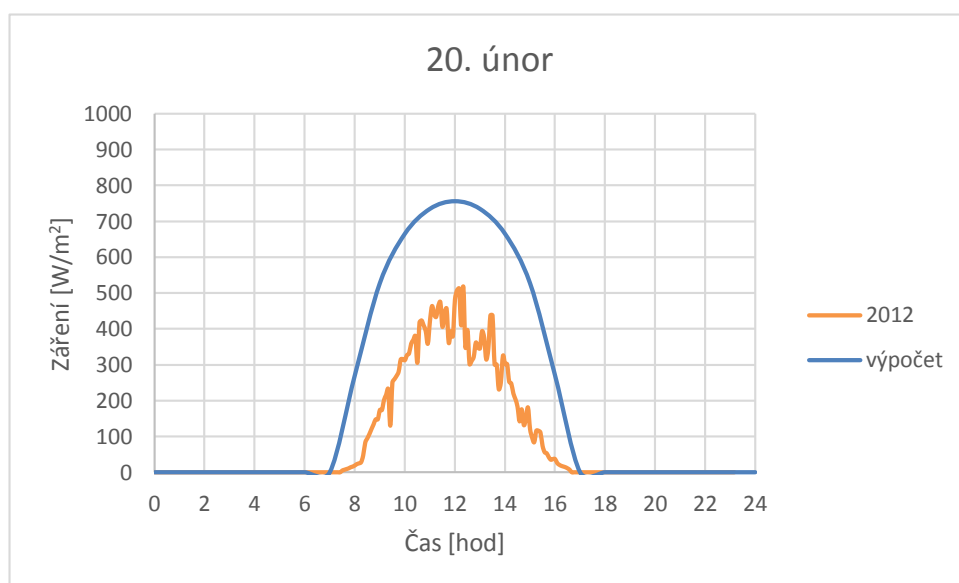
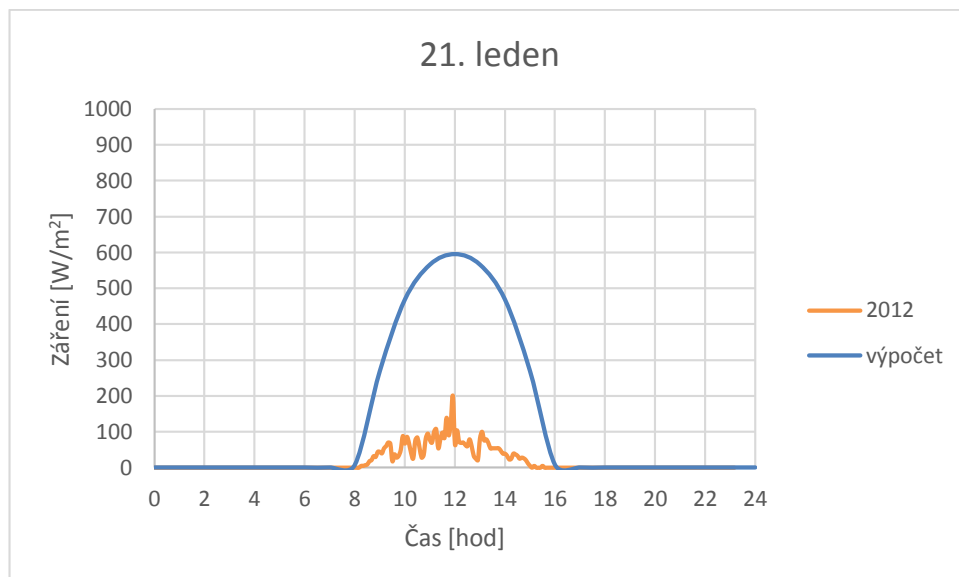
Nejdříve bylo nutné zjistit, jaké hodnoty intenzity jsou zde poskytnuty (není uvedeno). Po porovnání s teoretickým průběhem intenzit na horizontální rovinu (jako příklad na grafu 18. je uveden měsíc únor) jsem došla k závěru, že se jedná o intenzitu záření k normále plochy (kolmo ke slunečním paprskům).

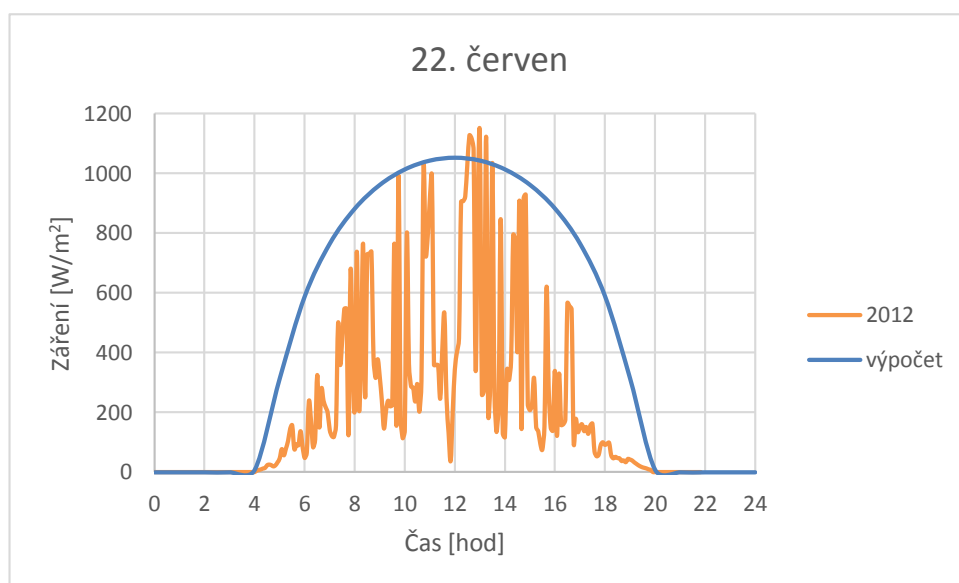
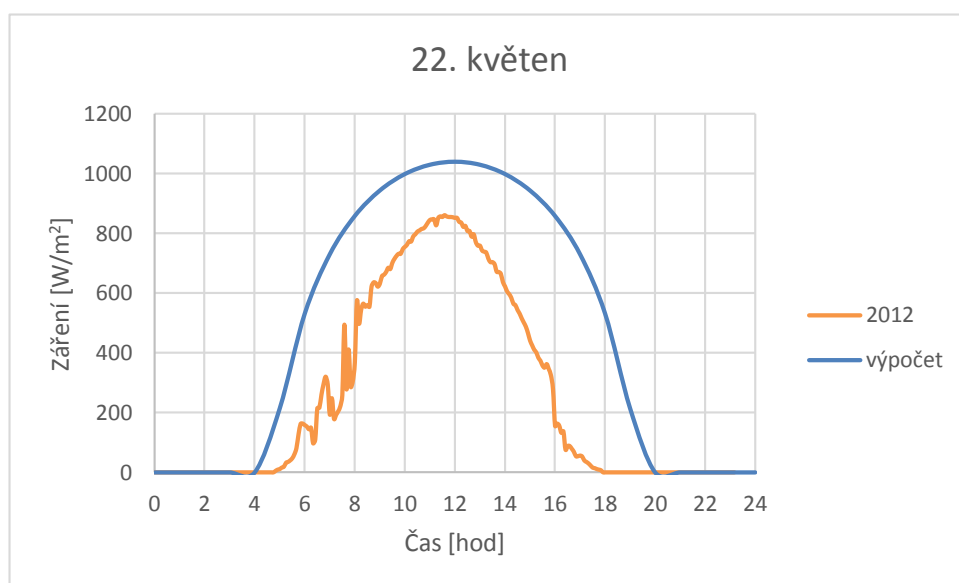
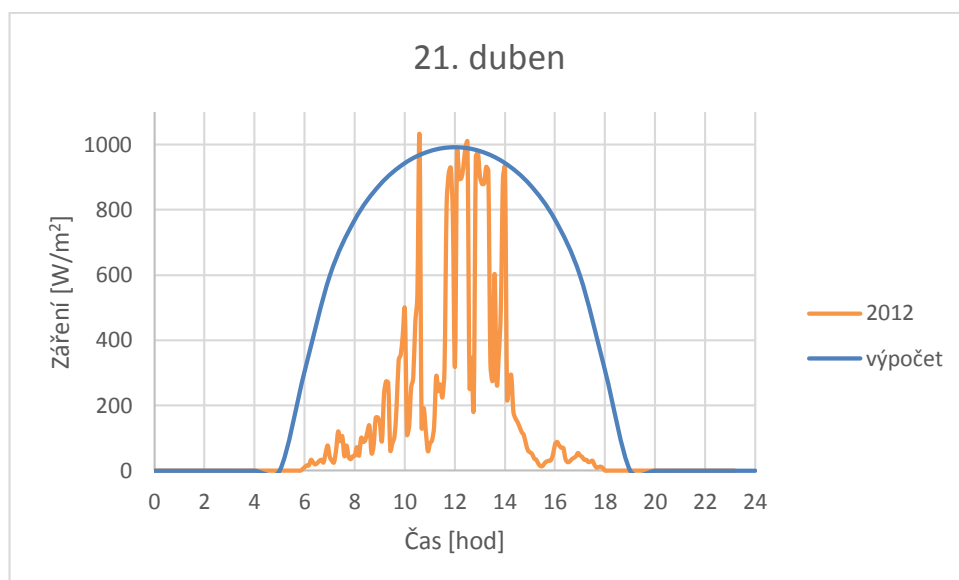


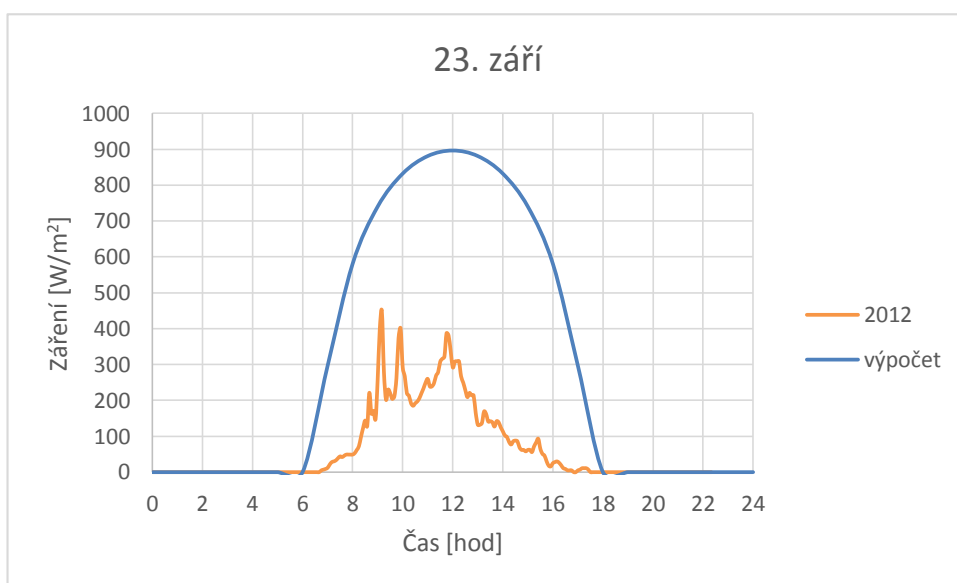
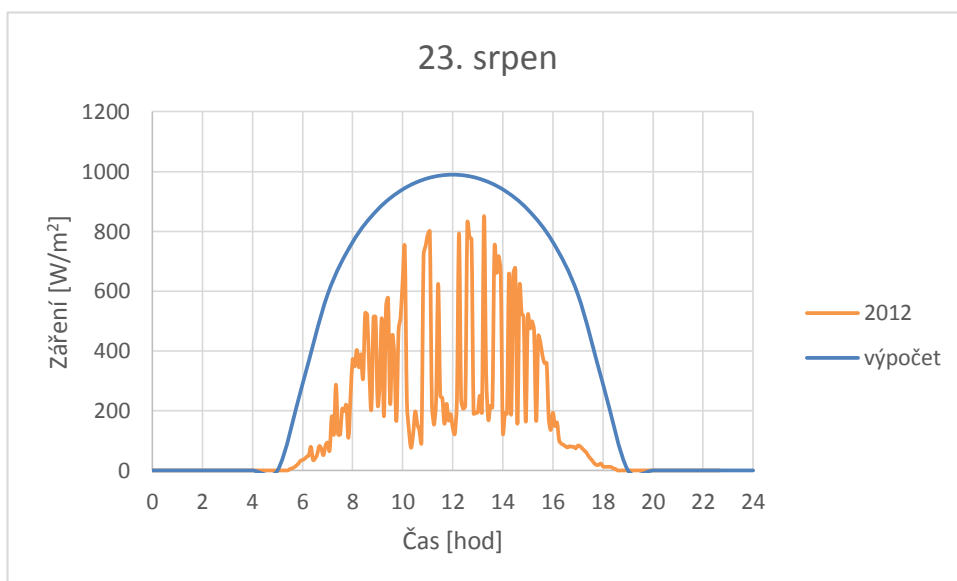
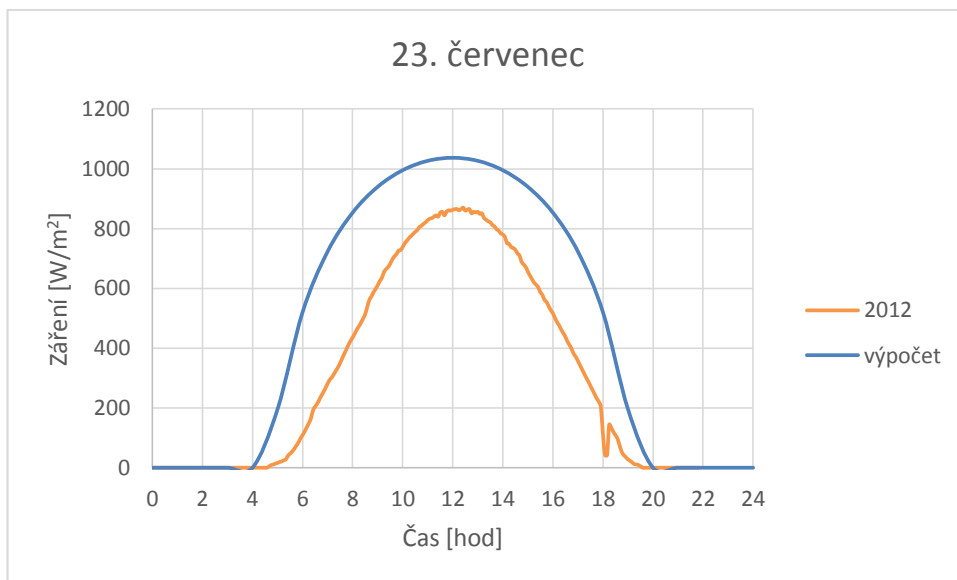
Graf 18.: Porovnání teoretické a reálné intenzity slunečního záření

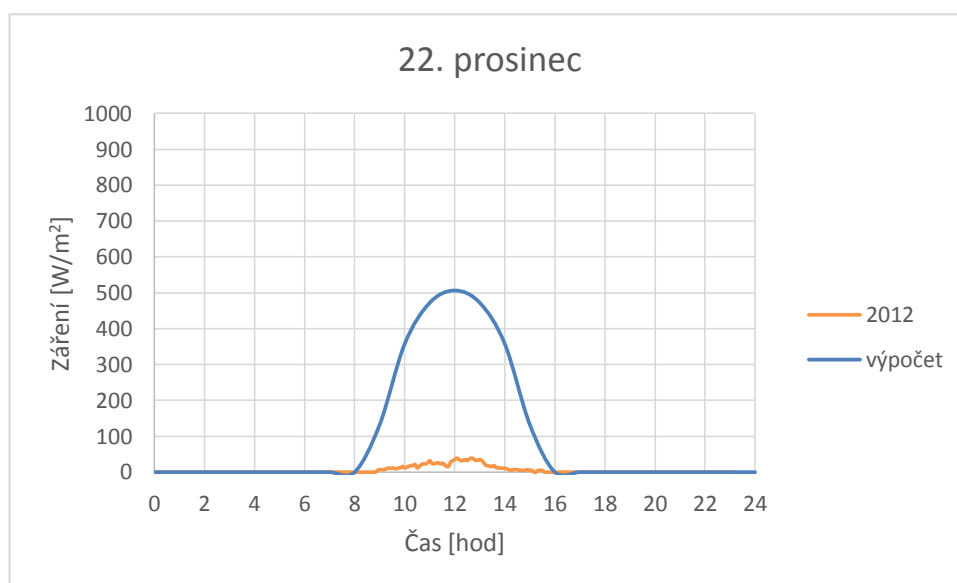
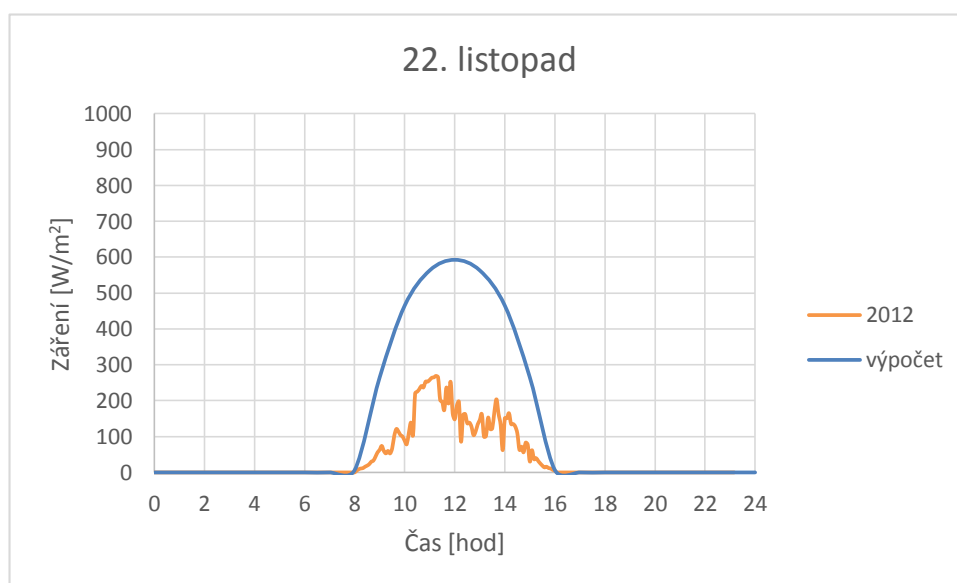
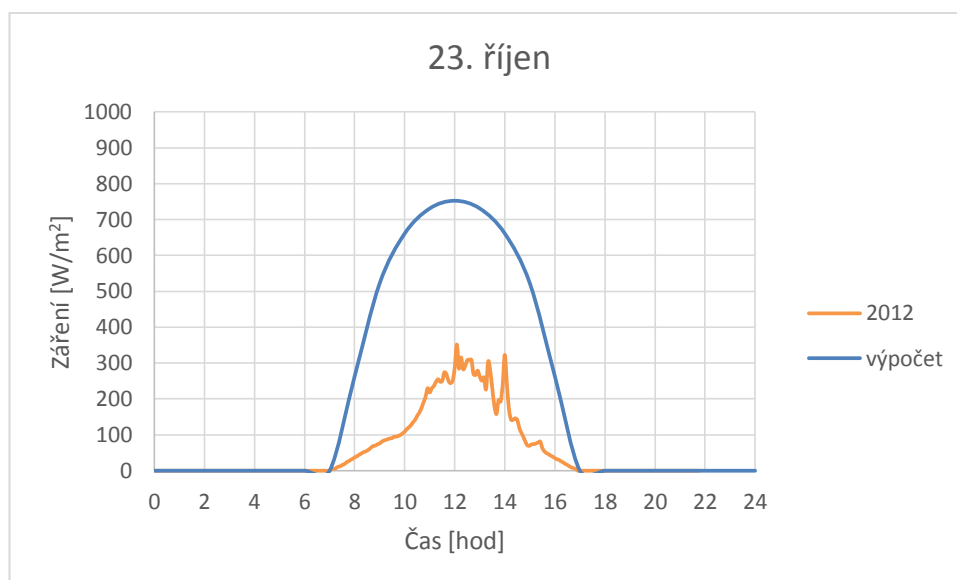
Na následujících grafech je tedy zobrazen skutečný průběh intenzity slunečního záření dopadající na plochu kolmo ke slunečním paprskům během vybraného dne v měsíci včetně oblačnosti pro rok 2012. Průběh je porovnán s odpovídajícím teoretickým průběhem celkové intenzity.

Na podzim a především pak v zimním období jsou hodnoty intenzity záření ve skutečnosti daleko nižší, než udává teoretický výpočet. Naopak v měsících duben a červen nabývají vyšších hodnot. V charakteristických dnech měsíce duben, červen a srpen jde podle grafů rozpoznat střídavou oblačnost.









Graf 19.: Průběhy intenzity kolmo k paprskům pro vybraný den v měsíci

11.1 Skutečná intenzita na horizont

Pro přepočet na hodnoty celkové intenzity dopadající na horizontální rovinu je nutné zjistit úhel mezi normálou osluněné plochy a směrem paprsku.

$$I_c = I_{cn} \cdot \cos \gamma \quad (\text{B. 15.})$$

Jako příklad je uveden přepočet maximálních hodnot v poledne měsíce leden. Rozdíl mezi velikostmi celkového záření na normálu a na horizontální rovinu je značný.

t		h	α	$\alpha - \alpha_s$	γ	I_{cn}	I_c
[h]		[°]	[°]	[°]	[°]	[W/m ²]	[W/m ²]
10:59:00	11.00	17.25	14.75	14.75	72.75	77	22.83
11:05:00	11.08	17.44	13.54	13.54	72.56	70	20.98
11:10:00	11.17	17.61	12.32	12.32	72.39	100	30.26
11:15:00	11.25	17.77	11.10	11.10	72.23	107	32.66
11:19:00	11.33	17.91	9.87	9.87	72.09	54	16.61
11:25:00	11.42	18.04	8.64	8.64	71.96	79	24.46
11:29:00	11.50	18.15	7.41	7.41	71.85	98	30.52
11:34:00	11.58	18.24	6.18	6.18	71.76	83	25.98
11:39:00	11.67	18.31	4.95	4.95	71.69	139	43.68
11:44:00	11.75	18.37	3.71	3.71	71.63	90	28.37
11:49:00	11.83	18.42	2.48	2.48	71.58	125	39.49
11:54:00	11.92	18.44	1.24	1.24	71.56	200	63.26
11:59:00	12.00	18.45	0.00	0.00	71.55	65	20.57
12:05:00	12.08	18.44	-1.24	1.24	71.56	104	32.90
12:10:00	12.17	18.42	-2.48	2.48	71.58	72	22.74
12:15:00	12.25	18.37	-3.71	3.71	71.63	69	21.75
12:20:00	12.33	18.31	-4.95	4.95	71.69	70	22.00
12:24:00	12.42	18.24	-6.18	6.18	71.76	63	19.72
12:30:00	12.50	18.15	-7.41	7.41	71.85	60	18.69
12:34:00	12.58	18.04	-8.64	8.64	71.96	79	24.46
12:39:00	12.67	17.91	-9.87	9.87	72.09	60	18.45
12:44:00	12.75	17.77	-11.10	11.10	72.23	33	10.07
12:49:00	12.83	17.61	-12.32	12.32	72.39	25	7.56
12:54:00	12.92	17.44	-13.54	13.54	72.56	21	6.29
12:59:00	13.00	17.25	-14.75	14.75	72.75	81	24.02

Tabulka 12.: Celková skutečná intenzita na horizontální plochu Leden

11.2 Přepočební funkce

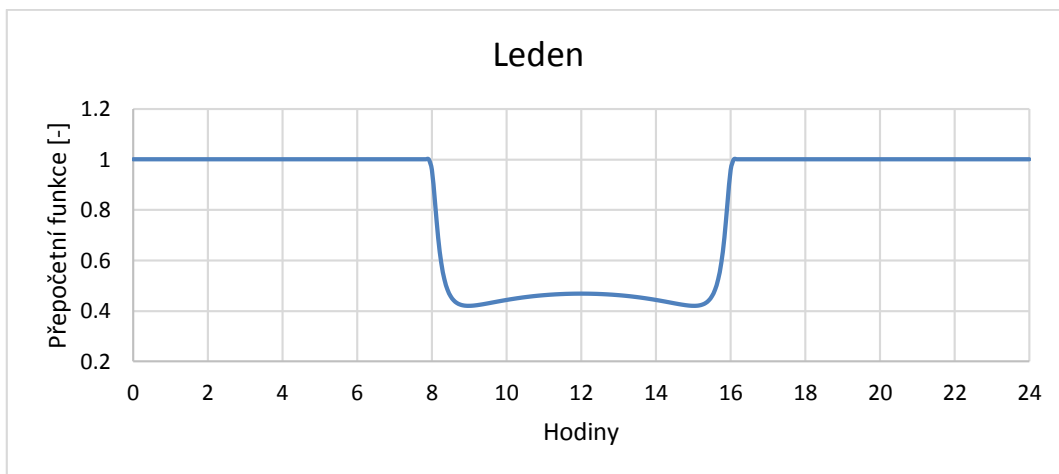
Pro získání hodnot skutečné intenzity pro zvolený sklon kolektoru $I_{\text{skuteč},37}$ je třeba využít přepočební funkci jako poměr teoretických hodnot celkových intenzit pro nulový sklon $I_{\text{teor},0}$ a pro sklon kolektoru 37° $I_{\text{teor},37}$:

$$\text{přepočet.fce} = \frac{I_{\text{teor},0}}{I_{\text{teor},37}} \quad (\text{B. 16.})$$

Opět jsem pro příklad vybrala poledne vybraného dne v měsíci leden 2012.

t		$I_{\text{teor},0^\circ}$	$I_{\text{teor},37^\circ}$	přepočet. fce
[h]		[W/m ²]	[W/m ²]	[-]
10:59:00	11.00	213.73	462.19	0.462
11:05:00	11.08	217.15	468.59	0.463
11:10:00	11.17	220.29	474.45	0.464
11:15:00	11.25	223.14	479.76	0.465
11:19:00	11.33	225.70	484.53	0.466
11:25:00	11.42	227.97	488.74	0.466
11:29:00	11.50	229.94	492.39	0.467
11:34:00	11.58	231.62	495.49	0.467
11:39:00	11.67	232.99	498.02	0.468
11:44:00	11.75	234.06	500.00	0.468
11:49:00	11.83	234.83	501.41	0.468
11:54:00	11.92	235.29	502.25	0.468
11:59:00	12.00	235.44	502.54	0.468
12:05:00	12.08	235.29	502.25	0.468
12:10:00	12.17	234.83	501.41	0.468
12:15:00	12.25	234.06	500.00	0.468
12:20:00	12.33	232.99	498.02	0.468
12:24:00	12.42	231.62	495.49	0.467
12:30:00	12.50	229.94	492.39	0.467
12:34:00	12.58	227.97	488.74	0.466
12:39:00	12.67	225.70	484.53	0.466
12:44:00	12.75	223.14	479.76	0.465
12:49:00	12.83	220.29	474.45	0.464
12:54:00	12.92	217.15	468.59	0.463
12:59:00	13.00	213.73	462.19	0.462

Tabulka 13.: Přepočební funkce Leden



Graf 20.: Přepočtení funkce v průběhu dne

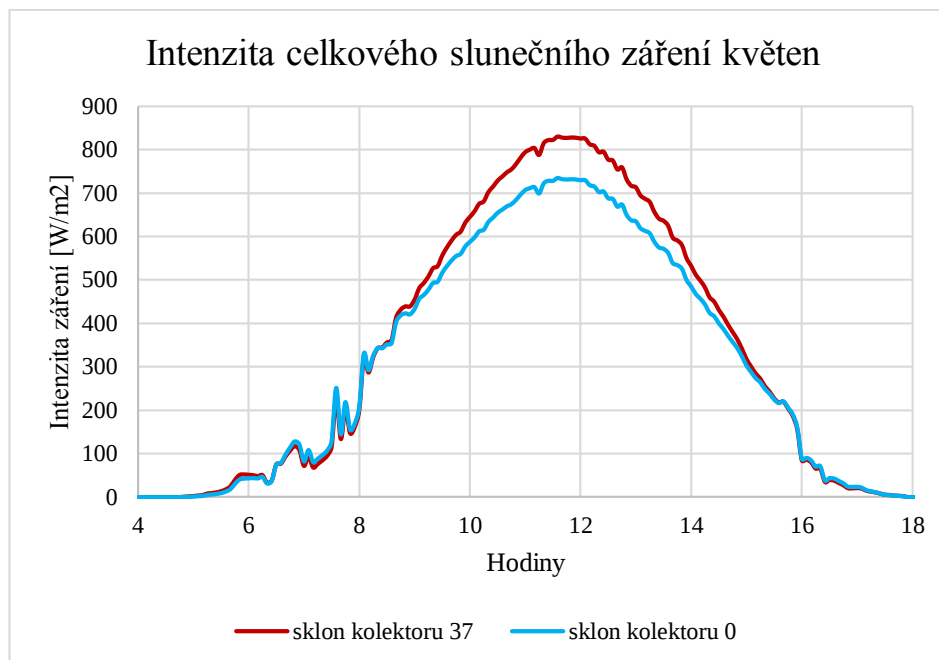
Vztah pro výpočet skutečné intenzity solárního záření pro zvolený sklon kolektorové plochy je následující:

$$I_{skutečné,37} = \frac{I_{skutečné,0}}{\text{přepočet. fce}} \quad (\text{B. 17.})$$

Na základě přepočtení funkce se intenzita pro sklon kolektoru 37° navýší. Rozdíly oproti nulovému sklonu jsou znatelné především v době nejvyšších dosahovaných hodnot intenzit (viz tabulka 14 – příklad rozdílů intenzit v době mezi 11 a 12 hodinou). Sluneční svit pro měsíc květen byl stálý po celý den.

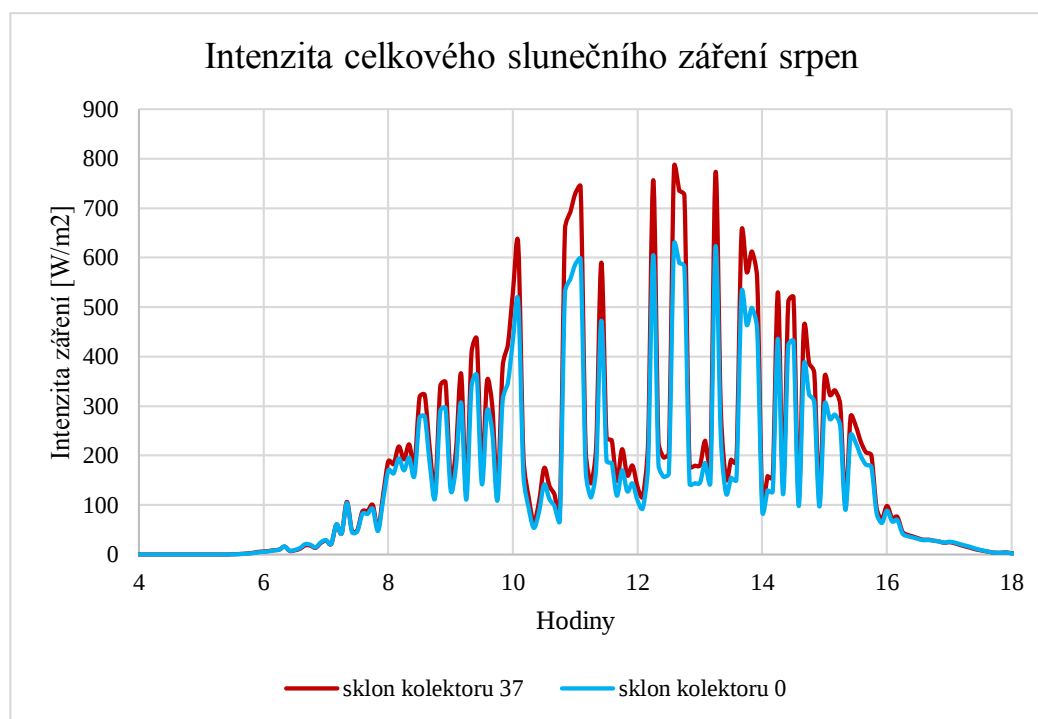
t		I _{skut,0°}	I _{skut,37°}
[h]		[W/m ²]	[W/m ²]
10:59:00	11.00	706.78	794.94
11:05:00	11.08	711.12	800.75
11:10:00	11.17	713.56	804.34
11:15:00	11.25	698.86	788.51
11:19:00	11.33	722.00	815.31
11:25:00	11.42	728.02	822.71
11:29:00	11.50	727.85	823.05
11:34:00	11.58	734.28	830.75
11:39:00	11.67	731.93	828.46
11:44:00	11.75	731.05	827.74
11:49:00	11.83	731.64	828.62
11:54:00	11.92	731.14	828.17
11:59:00	12.00	729.54	826.40

Tabulka 14.: Intenzita skutečného slunečního záření pro sklon kolektoru 0° a 37° květen



Graf 21.: Intenzita skutečného slunečního záření pro sklon kolektoru 0° a 37° květen

Pro vybraný den v srpnu jde rozpoznat proměnlivou oblačnost, která se následně projeví i v průběhu skutečné intenzity záření pro jiný sklon kolektoru (viz graf 22).

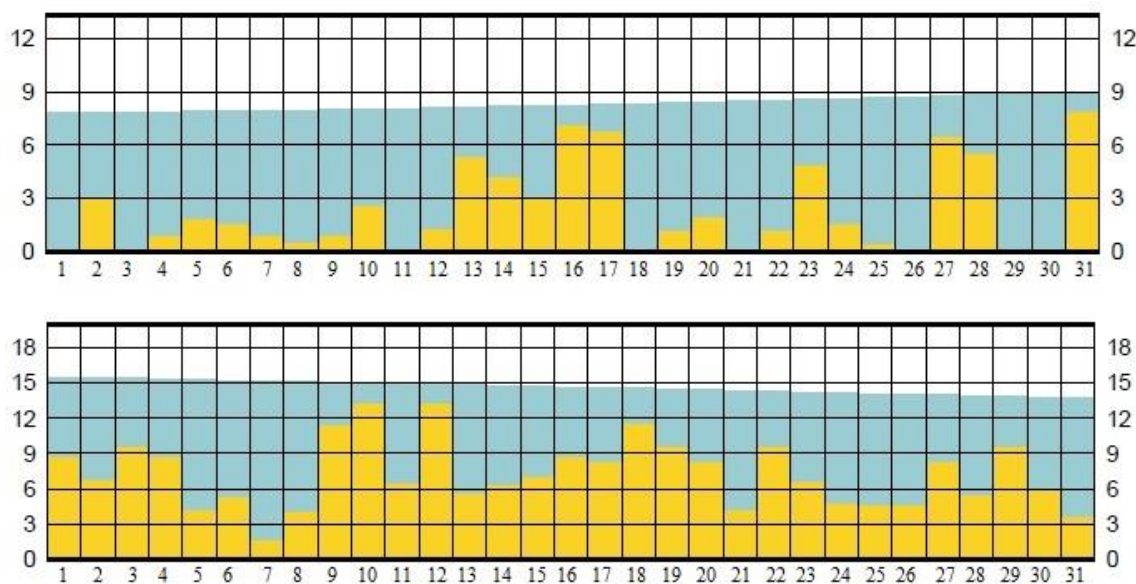


Graf 22.: Intenzita skutečného slunečního záření pro sklon kolektoru 0° a 37° srpen

Celkovou intenzitu pak získáme opět součtem hodnot jednotlivých intenzit.

$$Q_{s,den,skut} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad (\text{B. 18.})$$

Z klimatických dat však získáme intenzitu z pěti-minutového měření a pro výpočet středních intenzit je nutné skutečnou hodinovou dobu slunečního svitu přenásobit číslem 12 (1 hod = 60 minut / 5 minut = 12). Skutečnou dobu slunečního svitu pro vybraný den v měsíci lze odečíst např. z následujících obrázků 39.



Obr. 39.: Sluneční svit teoretický a skutečný pro jednotlivé dny měsíce Leden a Srpen ^[18]

Z obrázku 39. si lze snadno odvodit, že k maximálnímu slunečnímu svitu se za měsíc přiblížíme jen výjimečně. Skutečná doba slunečního svitu je minimální, dokonce některé dny nulová. To vypovídá o převažujícím oblačném podnebí. Doba svitu pro leden je samozřejmě nižší než pro měsíc srpen.

Odtud tedy můžeme vypočítat střední intenzitu slunečního záření pro vybrané dny v měsíci roku 2012 a dále pak energii dopadenou na osluněnou plochu ve sklonu 37°.

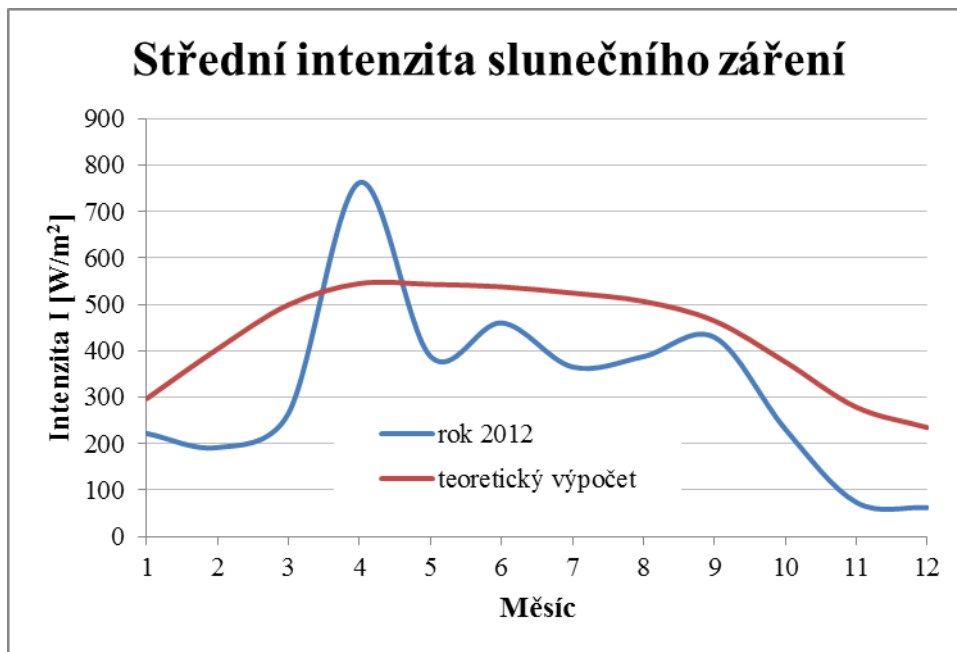
Měsíc		Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$Q_{S, den, skut}$	[W5min/m ²]	2663	17928	35363	29280	57704	43066	65720	30682	13909	10808	6422	743
	[kW5min/m ²]	2.66	17.93	35.36	29.28	57.70	43.07	65.72	30.68	13.91	10.81	6.42	0.74
$\tau_{skut, den}$	[hod/den]	1	7.8	11.1	3.2	12.4	7.8	15	6.6	2.7	3.9	7.3	1
	[5min/den]	12	93.6	133.2	38.4	148.8	93.6	180	79.2	32.4	46.8	87.6	12
$I_{stř}$	[W/m ²]	221.95	191.54	265.49	762.51	387.80	460.11	365.11	387.39	429.28	230.94	73.31	61.92
n		31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
$Q_{S, měs} = n \cdot Q_{S, den}$	[kWh/m ²]	6.88	43.33	91.35	73.20	149.07	107.67	169.78	79.26	34.77	27.92	16.06	1.92

Tabulka 15.: Střední intenzita záření a energie dopadající na osluněnou plochu za měsíc

Vypočtená energie dopadající na osluněnou plochu za rok je 801,20 kWh/m². (Teoretické množství energie pro vybrané dny v měsíci pro sklon kolektoru 37° je o 136,97 vyšší, tedy 938,17 kWh/m².)

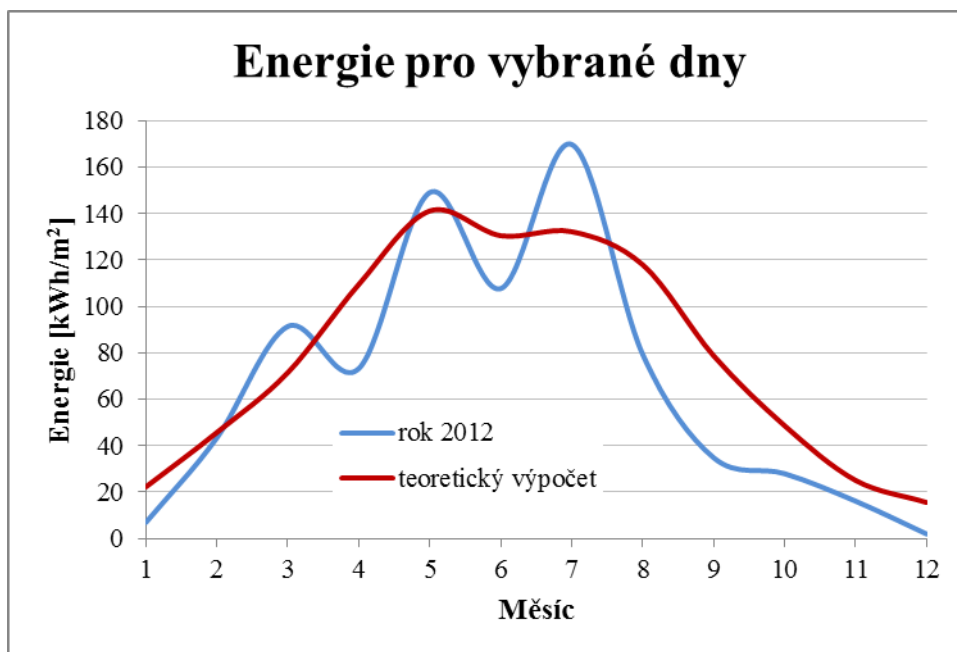
Pro navrženou plochu kolektorů 6,75 m² by byla pro rok 2012 celková dopadající energie 5408 kWh/rok (teoretické množství 6333 kWh/rok). Ovšem do výpočtu využitelné energie musíme zahrnout minimálně 20 % tepelných ztrát kolektoru. Využitelná energie tedy činí 4326 kWh/rok (5066 kWh/rok pro hodnotu z teoretického výpočtu).

Výslednou intenzitu z tabulky 15. můžeme porovnat s intenzitou teoreticky vypočítanou dle metodiky Dr. Cihelky. Podle grafu 23. pak zjišťujeme, že se hodnoty pro vybrané dny v měsíci výrazně liší. Hodnoty jsou nižší (kromě měsíce duben) především v důsledku převažující zamračené oblohy. Ve vybraný den měsíce dubna (21. 4.) byla přes poledne velmi jasná obloha.



Graf 23.: Porovnání středních intenzit slunečního záření

Vypočtená energie ze skutečných naměřených hodnot je v porovnání s teoreticky zjištěnou energií na následujícím grafu 24. Opět se liší v důsledku rozdílné doby slunečního svitu roku 2012 v porovnání s průměrnými hodnotami svitu.



Graf 24.: Porovnání množství energie

12 HODNOCENÍ

Předchozí teoretický výpočet je v praxi běžně používán a pro návrh je dostačující. Z výsledků množství energie dopadající na osluněnou plochu za rok vyplývá, že teoretický výpočet je nadhodnocený. Avšak pro celkové srovnání jsou hodnoty pouze z roku 2012 nedostačující. Pro přesnější představu můžeme využít např. simulační programy. Vždy by se mělo vycházet z průměrných hodnot klimatických dat za delší časové období. Počasí nelze ovlivnit, a proto se již v návrhu vždy počítá s určitými nepřesnostmi vypočítané účinnosti. Zisky ze solárních kolektorů nejsou nikdy zcela přesné. Při návrhu však můžeme vycházet také ze zkušeností, z dřívějších navržených solárních systémů atd., ale nikdy nemůžeme garantovat na 100 % vypočítané solární zisky.

Údržba navrženého systému je nenáročná a ovládání je pomocí automatické regulace minimální. Preventivní kontrolu a údržbu může provádět specializovaná firma nebo ji majitel zajišťuje sám (ideálně minimálně dvakrát ročně). Zpravidla v pětiletých cyklech je nutností výměna nemrznoucí látky v kolektorovém okruhu. S ohledem na životní prostředí je vhodné tuto výměnu a následnou likvidaci kapaliny přenechat na specializované firmě.

12.1 Ekonomické hodnocení

Teplá voda bude předehřívána solární soustavou. Kolektory SKN Logasol 4.0 budou umístěny na ploché střeše. Pokrytí dosáhne cca 69 % stávající roční potřeby. Instalovaná soustava bude pracovat v režimu high-flow s průtokem 50 l/hod. Instalaci tvoří 3 deskové kolektory s celkovou účinnou plochou 6,75 m². Teplo se bude akumulovat do zásobníku Reflex PHW 300 o objemu 300 l.

Orientační cena solární soustavy		
1 kolektor SKN Logasol 4.0	15400	[Kč]
počet kolektorů	3	[ks]
celková cena kolektorů	46200	[Kč]
akumulační zásobník PHW 300	11768	[Kč]
ostatní materiál (na 1 m ² kolektorové plochy 1000,-; min 10 000,-):		
$6,75 \cdot 1\,000 = 6\,750 \rightarrow$	10000	[Kč]
cena práce = cena zařízení	67968	[Kč]
cena celkem (IN)	135936	[Kč]

Tabulka 16.:Orientační cena solární sestavy

Uvedená cena kolektoru a akumulačního zásobníku je stanovena dodavatelem pro Českou republiku. Výsledná cena pro Nizozemské království se může lišit.

K celkové ceně je také nutné započítat cenu za potrubí, vedené od akumulační nádrže k plynovému kotli. Délka potrubí však bude vycházet až z konkrétního umístění ve sklepě. Prostupy přes podpěrné zdi jsou již předem nadefinované. Potrubí bude vedeno podél současného rozvodu a napojeno na přívod studené vody do kotle.

Samotnou realizaci bude provádět dodavatelská firma, proto nelze přesně odhadnout cenu za práci. Předpokladem je, že se bude pohybovat v mezích ceny zařízení.

Ročně je potřeba na přípravu TV 5,1 MWh/rok (= 18,5 GJ/rok). Dle poskytnuté faktury stál v roce 2012 jeden m³ zemního plynu 0,3662 € = 9,155 Kč (při kurzu 25 Kč = 1 Eur). Dle předpokládané účinnosti využívaného kotle lze získat z 1 m³ až 25,32 MJ.

spotřebovaný plyn	1	[m ³]
výhřevnost zemního plynu	31.65	[MJ/m ³]
účinnost plynového kotle	80	[%]
množství tepla	25.32	[MJ]

Tabulka 17.: Množství tepla z 1 m³

Pokud bychom počítali roční úporu investic do přípravy TV pro hodnoty získané energie z teoretického výpočtu, každý rok bychom ušetřily přes 9 tis. korun (při neměnné ceně plynu). Návratnost by se pohybovala okolo 13 let.

využitelná energie ze solárního systému	27.80	[GJ]
ušetřené množství plynu	1097.85	[m ³]
cena 1 m ³ plynu	9.155	[Kč]
roční úspora plynu RÚ	10051	[Kč]
investice do solárního systému IN	135936	[Kč]
prostá návratnost PN = IN/RÚ	13.5	[let]

Tabulka 18.: Návratnost při teoretickém výpočtu

Pokud bychom však uvažovali pouze solární zisky roku 2012 jako podklad pro výpočet, roční úspora by byla nižší v důsledku nižší využitelné energie. Návratnost by se prodloužila na necelých 16 let.

využitelná energie ze solárního systému	23.74	[GJ]
ušetřené množství plynu	937.57	[m ³]
cena 1 m ³ plynu	9.155	[Kč]
roční úspora plynu RÚ	8583	[Kč]
investice do solárního systému IN	135936	[Kč]
prostá návratnost PN = IN/RÚ	15.8	[let]

Tabulka 19.: Návratnost pro rok 2012

Vzhledem k předpokládané životnosti solárních panelů, okolo 25 – 30 let a na základě technicky ekonomické analýzy instalaci solární soustavy doporučuji.

V případě využití dotací na nákup zařízení, nebo následné navracení vložených investic, dle aktuálních podmínek stanovené vládou, se investice do solárního systému výrazně sníží a návratnost se může pohybovat i do deseti let.

C) POČÍTAČOVÁ SIMULACE

13 SIMULACE SYSTÉMU

Pro simulaci solárního systému je vhodné využívat vhodný simulační program. Bohužel většina těchto programů není volně přístupných. Na internetu jsou často k dispozici omezené demo verze. Po zakoupení pak získáme plnou verzi programu. Mezi volně dostupné patří především méně dokonalé nebo méně známé programy např. simulační program ESP-r.

13.1 Obecný popis programu ESP-r

Environmental Systems Performance for Research (ESP-r). Tento systém se vyvinul do dnešní podoby v průběhu několika desítek let. Původní podoba byla zpracována jako součást doktorského výzkumu v roce 1977 Joe Clarkem (zabýval se prouděním vzduchu). Následně byl pomocí financování SERC (agentura ve Velké Británii, která má na starosti financování vědeckých a technických výzkumných činností) přeorganizován. Především bylo upraveno grafické uživatelské rozhraní. V průběhu let pak byl nadále vylepšován a doplňován mnoha dalšími funkcemi do dnešní podoby.^[27]

Tento program je volně dostupný. ESP-r lze stáhnout z webových stránek <http://www.esru.strath.ac.uk> podle pokynů. Program je pouze v angličtině, avšak je ve vývoji v různých výzkumných centrech po celé Evropě i jinde. Tento vývoj zahrnuje jak vylepšení stávajícího systému, tak i vytváření nových aplikací souvisejícího výzkumu.

13.2 Účel

ESP-r je energetický simulační program, který je schopen modelovat proudění energie a kapalin v budově. Má za cíl simulovat náročnost budov takovým způsobem, aby se co nejvíce přiblížil ke skutečným fyzikálním systémům. Lze modelovat tepelné, vizuální a akustické náročnosti budovy, jakož i odhad tepla, vlhkosti a elektrický výkon modelované budovy.

V budově lze vytvořit několik zón pomocí nastavení jejich geometrie, konstrukce a dalších vlastností. Propojením pak těchto zón lze následně simulovat proudění vzduchu.

Program můžeme využívat např. pro zjištění:

- jaký bude celkový komfort ve stavbě,
- jaký přínos má stavební infiltrace na proudění vzduchu,
- jak navrhnuté konstrukční změny - navýšení tloušťky izolace,
změna tvaru a velikosti oken,
změna typu skla,
změna typu vytápění, nebo chlazení.
ovlivní proudění vzduchu a kvalitu ovzduší ve stavbě,
- jaký je účinek speciálních zasklení na letní přehřátí budovy,
- jaké jsou výhody plynoucí z některých architektonických stavebních prvků, jako jsou atria, nádvoří atd.,
- jaký je příspěvek (pokud jde o úspory energie a tepelné pohodlí) pasivního solárního vytápění nebo chlazení,
- jaká jsou optimální uspořádání konstrukčních prvků na efektivní provoz zařízení,
- který rekuperační systém funguje nejlépe na základě typického provozu,
- jaké jsou energetické důsledky konkrétního provozu,
- jak by se dal návrh upravit tak, aby byla budova uspokojivá uživateli.

Na základě těchto informací pak uživatel může snáze pochopit vzájemný vztah mezi designem a funkcí budovy. Lze pak určit problémové oblasti a zlepšit tak pohodu v užívání. Můžeme testovat návrh budovy ještě před začátkem výstavby a popřípadě upravit na požadované hodnoty.

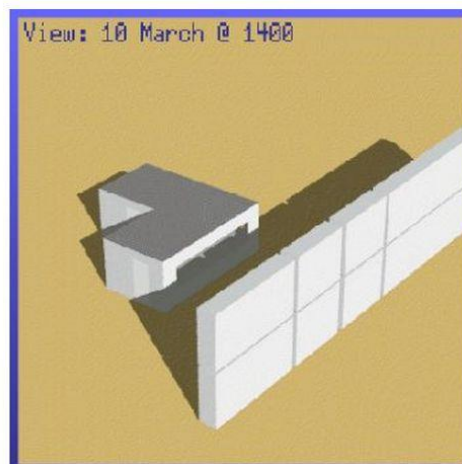
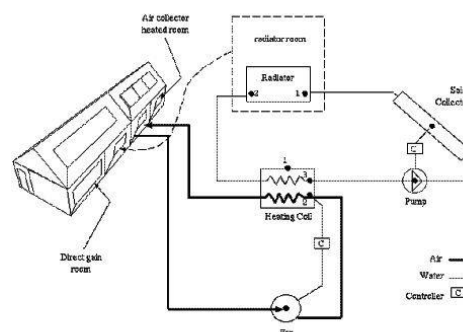
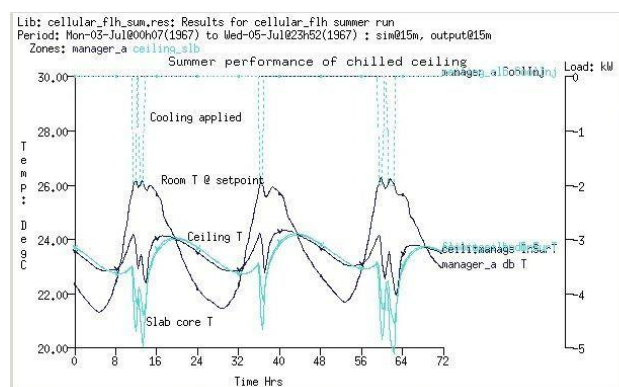
Tím, že program řeší všechny aspekty současně, ESP-r umožňuje konstruktérovi prozkoumat komplexní vztahy mezi budovou, prouděním vzduchu, zařízením a jejich kontrolou. ESP-r je založen na zadaných informacích z hlediska geometrie, provozu a využívá rovnice (pro energetiku, hmotnost, hybnost atd.), které jsou pak integrovány do po sobě jdoucích časových kroků v reakci na klima, uživatele a další vlivy.

Avšak nutností pro práci s tímto programem je požadovaná odborná způsobilost. Tím se myslí pochopení termo-fyzikálních procesů v budovách, environmentálních systémů a kontrol.

Stavební geometrie lze definovat buď pomocí CAD nástrojů, nebo na již vytvořené šablony projektů. ESP-r je kompatibilní s AutoCAD a ECOTECT.

Důležité jsou tedy vstupní hodnoty a data pro danou budovu. Bere se v úvahu i okolí budovy. V programu můžeme využít stávající databáze, nebo pro zpřesnění výstupu si ji uživatelsky nadefinovat, pokud příslušná data nejsou k dispozici.

Výsledky analýzy modulů jsou použity k zobrazení výsledků simulace. Můžeme pak provést řadu hodnocení výkonu a prozkoumat interakce mezi doménami hodnocení. Změny parametrů zadaného modelu lze pak sledovat v závislosti na těchto výsledcích. Rozsah analýz je v podstatě neomezený a data lze exportovat do jiných analýz a grafů.



Obr. 40.: Příklad výsledků simulace

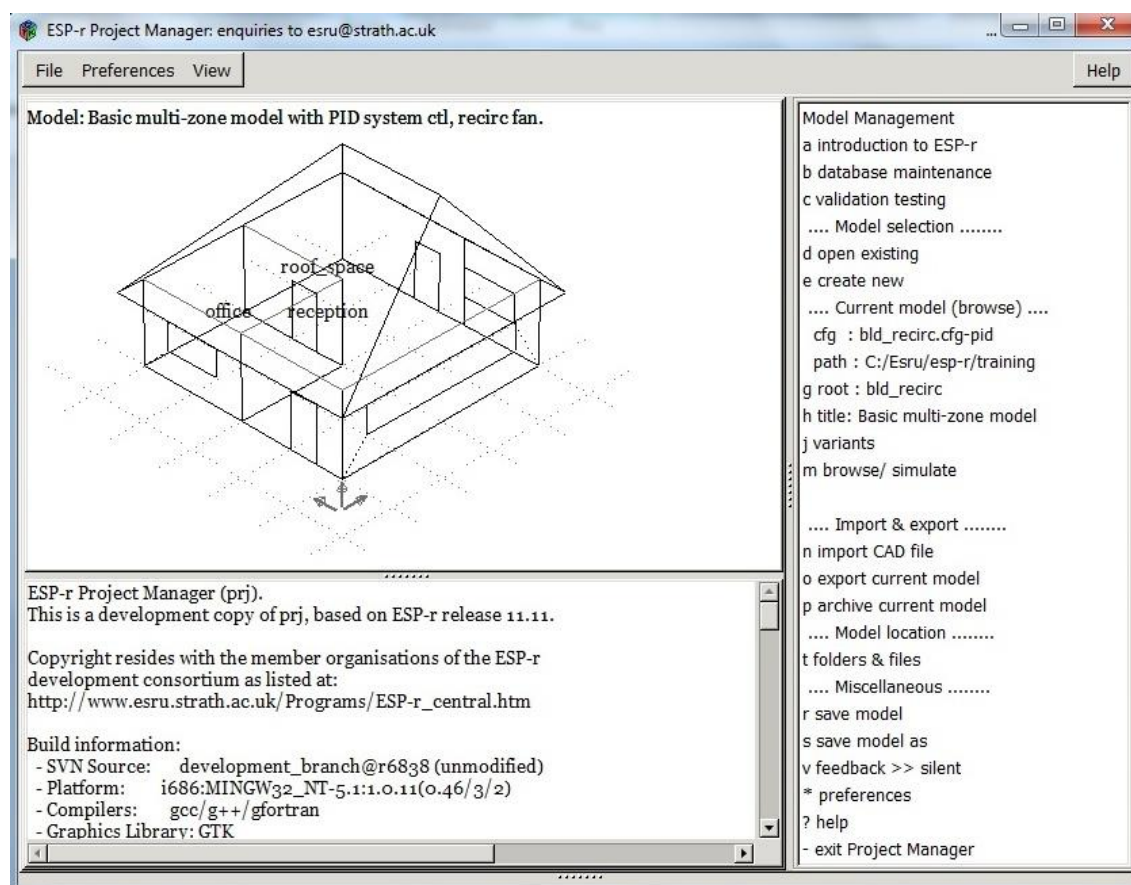
Tento program však zatím není v České Republice příliš rozšířen. Není tedy vytvořen ani žádný vhodný manuál. Společnost však nabízí tréninkové kurzy a semináře.

Pro seznámení s tímto programem jsem si vytvořila vlastní manuál formou „pokus omyl“ (zkoušením programu a jeho funkcí).

13.3 Struktura programu

Hlavní menu ESP-r se skládá z několika částí:

- *Panel nástrojů*: V horní liště si můžeme upravovat velikost a styl písma, tlačítko „Preferences“. Model projektu si můžeme různě natáčet a sklápět dle příkazů pod tlačítkem „View“. Součástí programu je i nápověda ke každému příkazu.
- *Model*: V levém horním okně se nám zobrazuje vytvořený model budovy se zobrazenými a pojmenovanými jednotlivými zónami.
- *Project Manager*: Pod Modelem máme informace o daném projektu. Včetně upozornění o nesprávném zadání. Můžeme zde zkontrolovat systémové databáze a zjistit, zda odpovídají našim požadavkům. Pokud tomu tak není, musíme si vytvořit jednu nebo více databází specifické pro daný projekt.
- *Model Management*: Po pravé straně je nejdůležitější část programu, kolem něhož jsou uspořádány podpory databází, simulace a různé nástroje pro hodnocení. Ve sloupci postupně zadáváme veškeré hodnoty, rozměry a požadavky na projekt.



Obr. 41.: Hlavní menu ESP-r

13.3.1 Položky menu

Položky menu jsou následující.

- a) „introduction to ESP-r“
- b) „database maintenance“ - údržba databáze: můžeme zde procházet a upravovat řadu databází, které jsou základem modelu
- c) „validation testing“ - lze zde zahájit standardní testy
- d) „open existing“ - otevření existujícího vzorového modelu
- e) „create new“ - vytvoření nového modelu
- f) „import CAD file“ - import geometrie z CAD souboru
- g) „export current model“ - export současného modelu do formátu
- h) „archive current model“ - archivace současného modelu
- i) „folders & files“ - seznam umístění složek a souborů spojené s aktuálním modelem.
- j) „save model“ – uložení aktuálního stavu
- k) „save model as“ - uložit model jako
- l) „feedback“ - zpětná vazba - přepínač, který řídí „upovídanost“ výše uživatelských zpráv (Silent, summary, detailed)

Existující vzorový model je možné využít k pochopení programu, studiu jeho struktury a ověření si všech jeho možností.

13.3.2 Sekce „current model“

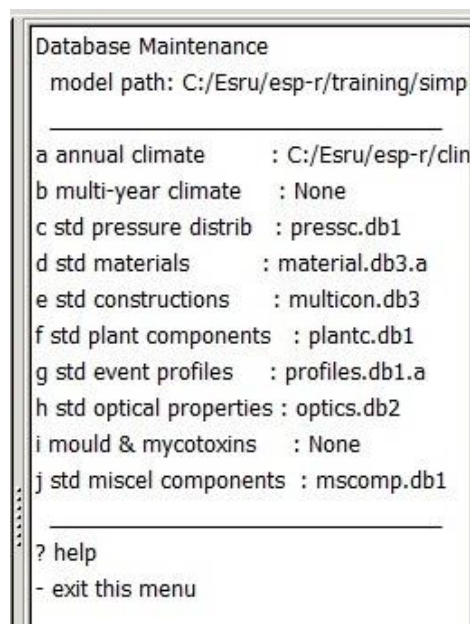
Pokud je model vytvořen z existujících nebo načtených možností jsou v následující oblasti napsány informace o tomto modelu.

- a) „cfg“ - název aktuálního souboru
- b) „path“ - cesta ke složce, kde se soubor nachází
- c) „root“ - název modelu, ze kterého je název hlavních souborů odvozen
- d) „title“ - popis modelu
- e) „variants“ - zařízení k vytváření nových modelů jako varianty stávajícího modelu (na podporu možností návrhu hodnocení)
- f) „browse/ edit/ simulate“ - prohlížet / editovat / simulace - přístup k volbám, které umožňují model buď procházet, upravovat nebo simulovat

13.3.3 Databáze

ESP-r obsahuje standardní databáze umístěné a spustitelné ze zásobníku. Ve většině případů může být na míru databáze vytvořena zkopírováním Standardní databáze do adresáře projektu a nakonec ji lze upravit tak, aby vyhovovala potřebám projektu.

Mezi potřebné databáze patří roční klimatické údaje z okolí stavby v průběhu roku (nebo několika let). Dále jsou to databáze materiálů, konstrukce stavby, komponenty, optické vlastnosti, ale i plísně... Po kliknutí na danou oblast se dostáváme dále do nastavení daného projektu. Zpět se dostaneme pomocí „exit this menu, exit, end“.



Obr. 42.: Databáze

13.3.3.1 „Annual climate“

Roční klimatická data. Máme na výběr „select db“ údaje například pro Londýn, Dublin, Brusel, Chicago, Calgary a další.

Tyto databáze obsahují hodinové parametry období od 1. ledna 1:00 do dne 31. prosince 24:00 hod. (tj. bez přestupných roků). Pokud se údaje předávají pouze pro určitou část tohoto období, zbývající data budou nastavena na nulu. Požadované parametry pro každou hodinu, jsou následující:

- Difuzní horizontální sluneční intenzita I_{dif} [W/m^2]
- Teplota suchého teploměru t [$^{\circ}C$] (desetiny degree.C, tj. 102 = 10.2degC)
- Přímá normální sluneční intenzita I [W/m^2]
- Rychlost větru v [m/s] (desetiny m/s, tj. 15 = 1,5 m/s)
- Směr větru (po směru hodinových ručiček od severu)
- Relativní vlhkost ϕ [%]

Databázi můžeme prohlížet a editovat, vybrat jinou, vytvořit novou, nebo kopírovat standartní.

Pokud by však nastavená databáze klimatických dat nevyhovovala umístění stavby, je třeba nahrát jinou databázi. K tomu je zapotřebí získání dat pro určité období (rok).

Tyto data lze získat několika způsoby. Jedním z nich je využití informací z internetových stránek <http://www.wunderground.com> a vyhledání počasí v dané lokalitě. Po úpravě je lze využít v programu ESP-r.

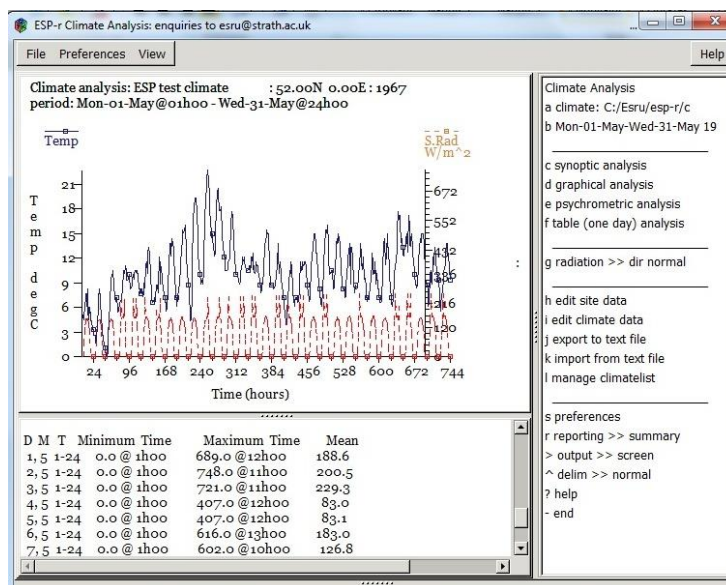
Při prohlížení „browse“ se otevře nové okno a můžeme zobrazit zadané hodnoty v několika verzích. Buďto přehlednou analýzou, grafickou, psychometrickou nebo tabulkou pro konkrétní vybraný den. Začínáme výběrem daného dne (období), následně co chceme zobrazit (teploty, vlhkost...).

V možnosti zobrazení „synoptic analysis“ je na výběr zobrazení jednotlivých hodnot („dry bulb temperature, direct normal solar, diffuse horizontal solar, wind speed, wind director, relative humidity“), nebo maximální, minimální, průměrné hodnoty. Tyto výsledky jsou ke zhlédnutí v oblasti Project Manager. Také si zde můžeme zobrazit

typické týdny z každého ročního období, které mají nejmenší odchylku od požadované hodnoty na vytápění, chlazení.

Grafické výsledky z „graphical analysis“ se objeví v levém horním okně.

Jednotlivá roční období upravujeme v nástroji „manage climatelist“. Můžeme definovat jejich začátek a konec. Lze vytvořit graf teploty okolí nebo také editovat klimatická data do textového souboru např. Word. Symboly >> v nabídce označují přepínací výběr.



Obr. 43.: Climate Analysis

13.3.3.2 „Pressure distributions“

Při simulaci proudění je nutné povolit výpočet povrchových tlaků na konstrukci způsobené větrem. Důležitý je koeficienty tlaku větru. Jsou to tlakové koeficienty pro plochy v typických pozicích a v několika různých expozičních kategoriích – vystavené expozici nebo chráněné.

Databázi tlakových rozvodů můžeme opět prohlížet a editovat, vybrat jiné, vytvořit nové, nebo kopírovat. Výchozí je v nastavení „browse“.

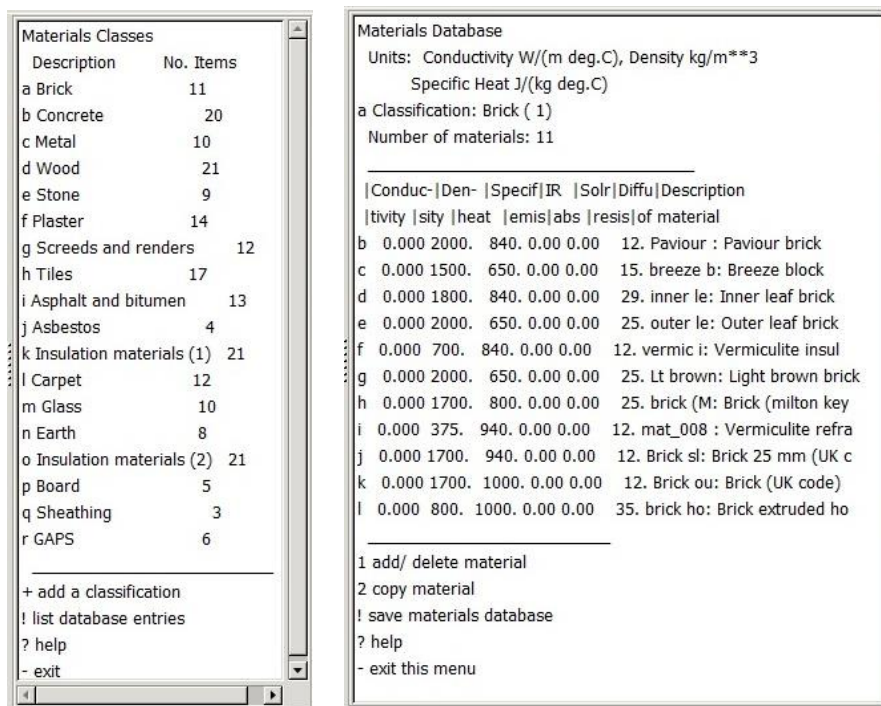
Prvních 27 datových sad (koeficient standardního tlaku z databáze) jsou z infiltrace vzduchu a větrání. Jsou použitelné pouze pro budovy do tří podlaží. Každá datová sada je popsána následujícími podmínkami:

1. fasádou nebo střechou s různými úhly sklonu střechy
2. poměr délky a šířky budovy (pro nečtvercovou budovu bude delší a kratší stěna vybrána automaticky)
3. stínění na plochy:
 - a) vystavené - otevřená krajina bez překážek
 - b) částečně vystavené - venkovská krajina s nějakými překážkami
 - c) kryté – městská krajina, ze všech stran překážky podobné velikosti

Zde můžete změnit data existujícího tlaku (kliknutím na něj). Můžeme data přidávat, mazat, kopírovat, zobrazit obsah existujícího nastavení, nebo aktualizovat změny, které jsme provedli.

13.3.3.3 „Materials“

Databáze materiálů (cihla, beton, kov, dřevo, kámen, omítka, dlaždice, asfalt, izolační materiály, koberec, sklo, druh půdy, opláštění, vzduch. mezery) obsahuje fyzikální vlastnosti materiálů jako je vodivost, hustota, měrná tepelná kapacita, emisivita, povrchová nasákavost, difúzní odpor a dále také výchozí tloušťku. Databázi lze spravovat - prohlížet a editovat, vybrat jinou, vytvořit novou, nebo kopírovat. Stejně snadno lze i vytvářet nové složky a položky seznamu.



Obr. 44.: Databáze materiálů

13.3.3.4 „Constructions“

Tato databáze konstrukcí je, více než jiné, specifická pro projekt. Definuje složení konstrukcí, jako jsou stěny a zasklívací systémy, z hlediska vrstev materiálů. Důležité především v místech, kde záleží na materiálovém pořadí a vhodné u materiálů, jež mají optické vlastnosti.

Po kliknutí na „browse“ se nám rozevře seznam komponentů daného projektu (stavby). Vytvoření nové konstrukce je podmíněné jedinečným názvem o maximální hodnotě 12. znaků. Informace v tomto zobrazení jsou založeny na údajích z této databáze a databáze materiálů. Při úpravě skladby konstrukcí se nám nabídne seznam definovaných materiálů. Všechny údaje o skladbách lze uložit do textového souboru.

Používá se k vytvoření zón konstrukce pomocí zadávání souřadnic jednotlivých vrcholů stěn. Tyto zóny pak reprezentují jednotlivé místnosti.

13.3.3.5 „Plant components“

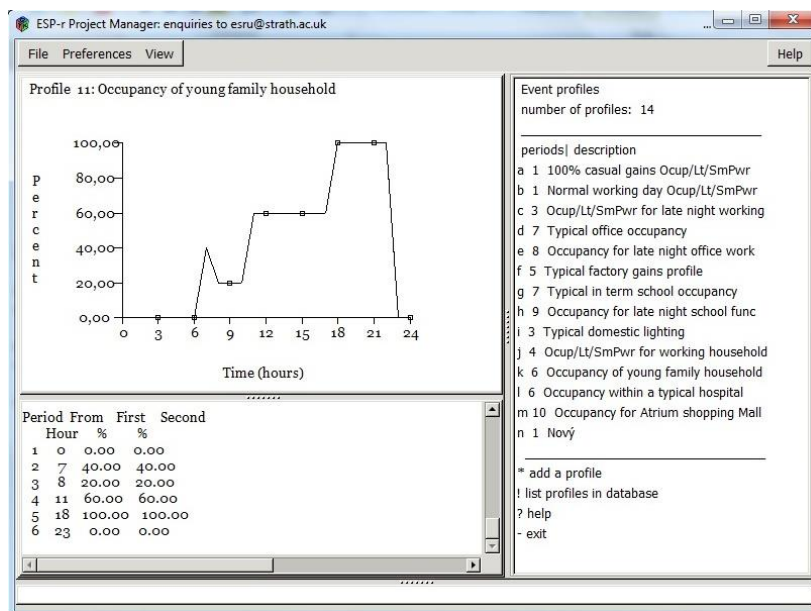
Databáze komponentů je binární soubor, který obsahuje přímo popis jednotlivých zařízení pro úpravu interního mikroklimatu budovy. Zobrazení databáze může být v několika možnostech. Dle číselného kódu, abecedně, neuspořádaně, nebo dle definic uživatele.

13.3.3.6 “Event profiles“

Profily z této databáze se používají při definování zónových operací. To znamená, že si zde nadefinujeme počet událostí pro každý profil. Pro každou událost také její začátek, konec a procentuální obsazenost.

Můžeme si zde nadefinovat, jak bude probíhat obsazenost dané zóny (místnosti) např. v pracovní den, obsazenost typického domu, obchodního domu, nebo v nemocnici atd. Dále může nadefinovat využití osvětlení apod. Při vytváření nového profilu je nutné zadávat jedinečný název. Maximální počet znaků v názvu je 40.

Každý profil se nám pak zobrazí v levém horním rohu v podobě grafu a jednotlivé hodnoty pod tímto grafem v „Project Manager“.



Obr. 45.: Profily

13.3.3.7 “Optical Properties“

V této databázi jsou definovány optické vlastnosti vícevrstevných konstrukcí. Údaje zahrnují přenos solárního záření (záleží na úhlu dané vrstvy - 0, 40, 55, 70, 80 stupňů od normálu) a absorpci v každé vrstvě. Slouží k výpočtům denního osvětlení a kontroly náhodných příležitostných zisků. Také můžeme zjistit, jak velký bude mít význam využití vnitřních žaluzií nebo počet vrstev skla v daném typu okna.

Zdroje informací pro optické vlastnosti jsou buďto z vložené databáze nebo je zadáváme ručně. Seznam dostupných optických vlastností zahrnuje krátký název (jedinečný, max 12 znaků), optické vlastnosti.

Výsledky se nám zobrazují ve formě grafu nebo pomocí hodnot zobrazených v „Project Manager“.

13.3.4 Ověřování, testování

„Validation testing“ se používá pro ověření zařízení. Testy jsou následující.

- a) analytické řešení rozložení teploty ve vícevrstvé konstrukci
- b) numerické řešení pro konkrétní případy
- c) empirické datové soubory pro zvláštní případy
- d) ASHRAE 140 a normy CEN / ISO.

13.3.4.1 Analytické testování

K dispozici jsou následující možnosti:

1. nestacionární přenos tepla vedením přes vícevrstvé konstrukce: pro definování hranice ploch. Obecným pravidlem je, že každá část povrchu leží buď uvnitř, nebo na povrchu konstrukce se zadanou podmínkou. Nové hranice pole budou navazovat na ty předchozí. Postupně zadáváme:
 - a. distribuci teploty ve vícevrstvé stavební konstrukci: při vytváření nové vrstvy musíme zadat vodivost $[W/(m \cdot K)]$, hustotu $[kg/m^3]$, měrné teplo $[J/(kg \cdot K)]$, tloušťku vrstvy $[m]$ a počet uzlů číselně představující vrstvu
 - b. počáteční teplotu
 - c. vnější hranice – vybíráme typ vrstvy, buď konvektivní, nebo adiabatická, dále teplotu okolí a součinitel prostupu tepla
 - d. vnitřní hranice – vybíráme typ vrstvy, nebo zadáváme teplotu povrchuDále můžeme upřesnit následující možnosti (výchozí hodnoty jsou obvykle přijatelné):
 - a. slouží k nastavení časového kroku výsledků během několika sekund
 - b. definovat počet požadovaných výsledků
 - c. zadat uzel, který bude monitorován
 - d. nastavit požadovaný počet vlastních čísel
 - e. přiřadit maximální počet povolených iterací
2. přenos tepla konvekcí
3. zářivý tepelný tok
4. difúze vlhkosti vícevrstvé konstrukce

13.3.5 Prohlížení/simulace

Model, jak je definován v předchozích nastaveních programu, zahrnuje několik oblastí, jako jsou definice simulace, geometrie, konstrukce, užití a kontrolu systémů, systémové odkazy na soubory jiných souborů, kde se nachází skutečné definující data pro konkrétní model.

Například je možné, nejprve definovat jednu stavební zónu a poté se přidá další zóna, zařízení a řízení. Lze upřesnit pohyb vzduchu v konkrétní zóně nebo zařízení jako součást pracovního proudu tekutiny.

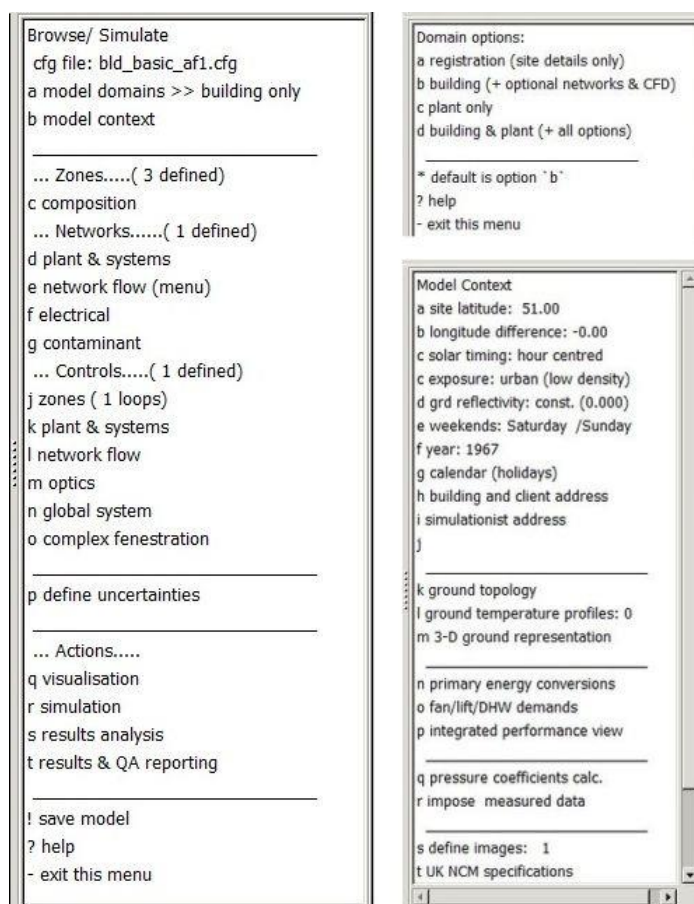
Domény přidány v modelu jsou automaticky aktualizovány jako nové informace. Změna domény může mít významný dopad. Například, když se soubor změní pouze pro čtení, všechny odkazy na stavební zóny budou odstraněny (i když soubory zón stále existují). Doména obsahuje pouze stránky informační s dokumentací a obrázky.

V úvodu „model domains“ lze nastavit, možnosti domény. Máme na výběr nastavit zobrazení výsledků např. pouze budovy (s výběrem konkrétní zóny a doby), pouze technického zařízení nebo obojí.

Souvislosti s modelem „model context“ lze nastavit umístění modelu (zeměpisnou délku a šířku) pro výpočet oslunění a proslunění a také zda se daná budova nachází

v městské nebo venkovské oblasti. Podle vstupních hodnot klimatických dat se zadává časování. Dále můžeme nastavit odrazivost okolních ploch, dle množství zasněžení. Některé dny nebo víkendy můžeme nadefinovat jinak dle potřeby užívání a určujeme rok prováděné simulace. Pokud chceme, zadáváme i přesnou adresu budovy a telefonní číslo majitele...

Celková nabídka je rozdělena do několika částí.



Obr. 46.: Simulate

13.3.5.1 „Zones“

Tato nabídka poskytuje zázemí pro vytváření, prohlížení a upravování zóny na úrovni dat. Například geometrii a konstrukci, plány a různé technické údaje vztahující se k CFD (aktuální soubor), příležitostná regulace zisku atd.

1) „Zones“

Tato část obsahuje základní atributy, které musí být vyplněny před simulací. Pokud jsou však již všechny povrchy daných zón zadány (v sekci Konstrukční materiály), úkoly vyžadují jen málo zásahu uživatele. V menu pro výběr zón je možnost zóny vložit nebo vymazat kopie. Můžeme zde pak konkrétní zónu dodatečně přenastavit nebo si jen zkontrolovat zadanou oblast (jméno, popis, základní plocha, poloha zadáním vrcholů, povrchové atributy, sluneční záření, stínící překážky, materiál, provozní detaily).

2) „Typology“

Specifikujeme zde co je na druhé straně povrchu v modelu. Může to být venkovní prostředí, kdy je povrch vystaven okolnímu vzduchu – rozdílná teplota, vítr, sluneční

záření v průběhu sledovaného období, nebo je vystaven stejným podmínkám jako na vnitřní straně, nebo přijímáme povrchovou teplotu z jiné zóny. V tomto případě můžeme navázat spojení mezi zónami. Daný typ nově vytvořené plochy lze pojmenovat a pak jej využívat vícekrát. Např. stejné povrchy budou u zasklených ploch ve fasádě. Existují různé způsoby, jak definovat topologii:

- a) plochy přes atribut objektu - zóny definované již dříve
- b) ručně upravovat pomocí seznamu ploch
- c) hledání odpovídajících vrcholů v rámci modelu (dokončení seznamu, úprava, nebo import povrchových vlastností)

Pokud se v dané ploše vyskytují otvory, nebo svody, můžeme v části „anchors“ nastavit chování tohoto otvoru mezi dvěma uzly. Buďto jako otevřené/zavřené dveře, otevřené/zavřené okno, otvor umožňující větrání, nebo může obsahovat trubku mezi dvěma zónami. Dále se daná plocha může vyskytovat v blízkosti ventilátoru nebo čerpadla a dané proudění zde bude odlišné.

3) „Options“

Umožňuje přidat další popisy, nebo detaily pro model, tak abychom byli schopni dle našich představ hodnotit daný výsledek. Pokud tyto další atributy ne zadáme, program vezme výchozí předpoklady.

Modul „Shading & insolation“ poskytuje výpočet stínování na vnější plochy a distribuce oslunění přes povrchy zóny. Analýza stínování se zabývá vnějšími překážkami a povrchy, zatímco analýza slunečního záření se zabývá rozložení pronikajícího slunečního světla okny. Sluneční paprsky jsou ovlivněny stíněním v oknech. V této části můžeme nastavit den výpočtu, typ oblohy, zobrazit pohyb slunce po obloze a vznikající stíny.

V „Convection coefficients“ vybíráme možnost, která nejlépe postihuje princip konvekce vnitřního povrchu v dané zóně, která může významně ovlivnit výsledky simulací. Možnostmi jsou: podlahové vytápění, stěnové pomocí panelů, otopné těleso pod oknem nebo mimo něj, a také využití vzduchotechniky.

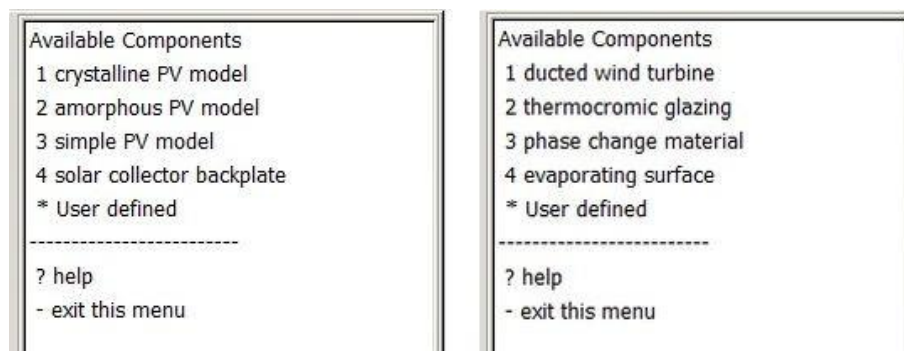
Dále máme možnost zobrazit faktory a zářivé senzory, kontrolu náhodného zisku, výpočetní dynamiku kapalin a vlhkosti.

4) „Special components“

Zde můžeme do modelu definovat speciální zařízení (např. přiřazení elektrických vlastností u FV článků...). Položky menu se vztahují k různým kategoriím komponentů, které mohou být zvoleny pro integraci do budovy.

Vybíráme buďto obnovitelné zdroje energií (krystalický, amorfni a jednoduchý PV model, nebo solární kolektorová deska), aktivní systémy (fasádní integrované fotovoltaické systémy, svedené větrné turbíny, materiály s fázovou změnou, termochromické zasklení, odpařovací povrch), nebo systémy s optickými vlastnostmi. Každý materiál je prokazatelně spojen s řadou předem definovaných parametrů. Ty můžeme v případě potřeby změnit.

Při vytváření nové solární desky zadáváme označení, průtok vody, vstupní teplotu, počet trubek, průměr a délku trubek. Následně vybíráme ze seznamu zónu a povrch, na kterém bude zařízení umístěno... U turbíny otevřený obvod napětí, zkratový proud, napětí a proud na bodě maximálního výkonu, referenční oslunění a teplota, počet buněk zapojených v sérii, počet paralelně zapojených větví, počet panelů na ploše, hodnotu pro výpočet, typ zatížení... U fázové změny nás zajímá teplota tání a tuhnutí, vodivost v pevné a tekuté fázi, měrná tepelná kapacita, latentní teplo...



Obr. 47.: Specifické komponenty

5) „Global task“

Tato volba umožňuje posunout nebo otočit model (proti směru hodinových ručiček) kolem původního místa nebo uživatelem stanoveného místa. Můžeme také najít a nahradit konstrukci na povrchu atributu. Nemění se však tepelné údaje uložené v zóně stavby.

13.3.5.2 „Networks“

V této nabídce můžeme získat další informace o komponentách a spotřebě energie. Poskytuje přístup k detailům zařízení (komponenty založené nebo idealizované) a k proudění vzduchu, elektrickým podmínkám a znečištění.

Idealizovaný model vytvoří popisy k hlavním a záložním systémům, explicitní model vytvoří síťový soubor zařízení a jejich propojení mezi sebou. Tento model je vhodnější, pokud nemáme jasnou představu o tom, z jakých částí je systém sestaven. Můžeme použít stávající sestavu nebo sestavit novou.

1) „Plant & systems“

Volba jednoho z typů systémů v menu umožňuje simulace, které mají být optimalizovány a modelovány. Volba typu systému automaticky nastaví druh simulace, které mají být provedeny:

1. Mechanický ventilační systém - simulované jsou toky energie, vzduchu a vlhkosti (energie a dvoufázové proudění). V tomto typu systému jsou ventilační komponenty modelovány konkrétně, ale kotel je modelován více abstraktně, tj. s použitím tavidla na bázi vytápění a chladicí spirály. Hlavní pracovní tekutinou je vzduch.

2. Vodní topný systém - tento systém je vhodný pro modelování ústředního vytápění a solární topné systémy, v nichž pracovní tekutinou je voda o nízké teplotě, takže simulovaný je tok energie a vody (energie a jednofázové proudění).

3. Elektrické topení - v tomto systému program modeluje proudění vody, proudění vzduchu je nedůležité. Teplo je považováno jako tok dodávaný do vytápěného prostoru, proto energie není modelována ale pouze simulována.

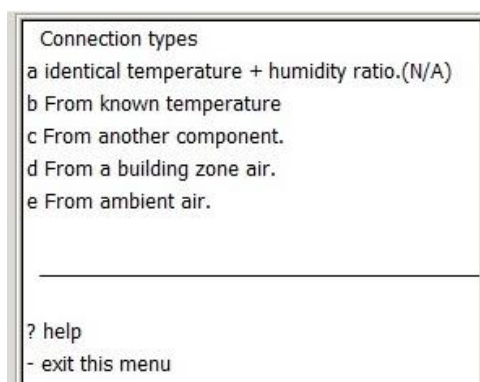
4. General HVAC systém - tento systém je vhodný pro velmi detailní modely systémů, tj. kdy kotel a klimatizační systémy je třeba modelovat podrobně a kde horká voda i vzduch jsou pracovní kapaliny (např. vzduchový topný systém s topným hadem dodávky modulárními kotly). V tomto typu modelu je simulována energie, tok vzduchu, vodní páry a horké vody (energie a dvoufázové proudění).

Po výběru daného systému, definujeme konkrétní komponenty „Components“. Vybíráme je z rozsáhlého seznamu – klimatizace, ústřední vytápění nebo pomocí solární techniky a další komponenty např. pokojový termostat atd. Po označení daného zařízení

a tlačítka exit, definujeme název zařízení (max. 15 znaků), teplotu vzduchu a vody. Při editaci dat můžeme nastavit další data zařízení: měrnou tepelnou kapacitu i nepovinné údaje o tocích: druh kapaliny (vzduch, voda), průměr potrubí, plocha průřezu, délka, vedení, absolutní drsnost stěny, součet místních dynamických faktorů ztrát, období – den, hodina...

Po nadefinování konkrétních komponentů lze v dalším kroku tyto zařízení spojovat „Connections“, určit zdroj teplot, vlhkosti atd. Vybíráme jednu možnost:

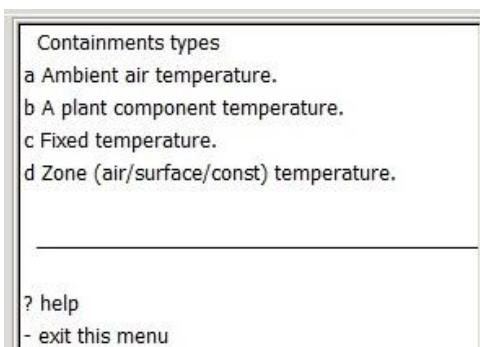
- zatím zdroj není k dispozici
- známe teplotu a vlhkostní podíl: po zadání těchto hodnot určujeme vstupní průtok do zařízení - vyberte složku v síti, která dodává tuto součást, nebo označíme příslušný ventilátor
- určujeme další zařízení, které odesílá složky do přijímacího zařízení
- vybere zónu budovy, která posílá tekutiny k přijímací složce
- získaná teplota a vlhkost je z okolního prostředí – opět určujeme průtok



Obr. 48.: Spojení zařízení

Pokud máme vše hotovo, můžeme dané zařízení, které je upravováno, uzavřít „Containments“.

- teplota okolního vzduchu – stanovujeme přírůstek nebo úbytek teploty
- teplota zařízení
- pevná teplota
- teplota v zóně – vzduchu, dané plochy, nebo jen daného místa



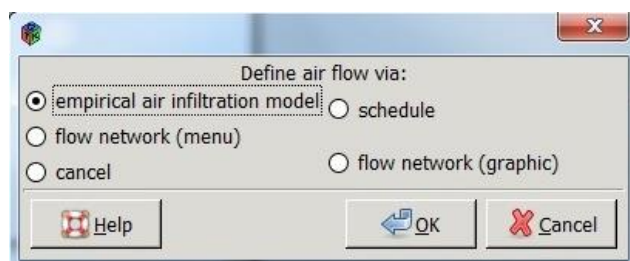
Obr. 49.: Uzavření zařízení

Dále můžeme určit elektrické údaje „electrical data“ v aktuální síti zařízení. Můžete přidat, odstranit data, nebo je upravit. Hodnoty jako provozní napětí, účinnost nebo fáze jsou konstantní. Nicméně, spotřeba je pouze počáteční hodnotou. Jako proměnná je přepsána s vypočtenou hodnotou při každém kroku simulace. Komponenta může být buď zatížení (pohlcuje energii), nebo může být generátorem (zdroj).

2) „Air flow“

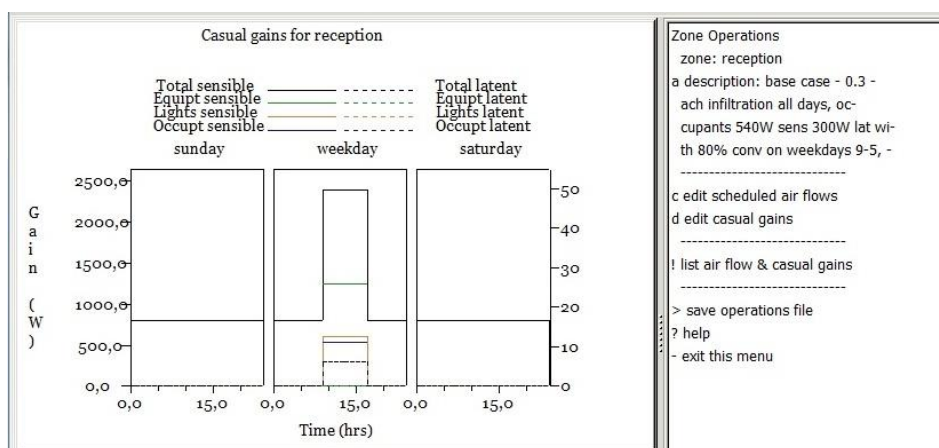
Proudění vzduchu lze modelovat několika způsoby:

- empirický model infiltrace vzduchu – pro samostatně stojící RD (max. 3NP) definujeme těsnost budovy, máme na výběr z více možností – popis budovy, komínového průduchu, okolního terénu, stínění



Obr. 50.: Proudění vzduchu

- naplánování proudění vzduchu z venku (infiltrace) a ze zadaných zón nebo zařízení (větrání), vhodné pro jednoduché režimy proudění vzduchu
 - zadáme začátek a konec doby, kdy probíhá infiltrace a ventilace



Obr. 51.: Naplánování proudění vzduchu

- síťový přístup využívá k proudění různé komponenty (dveře, praskliny potrubí, ventilátory atd.), tento přístup vyžaduje výrazně více definic a informací
 - standardní postup - průtok sítě definován pomocí výběru součástí z menu, může být vytvořeno částečně automaticky
 - experimentální přístup – grafický, pomocí ikon v mřížce

3) „Electrical“

V každé ze zón kde máme dokončené umístění komponent, můžeme definovat připojení jednotlivých zařízení k elektrické síti. Zadáváme název, popis sítě, fázový

posun, základní napětí a výkon, vybíráme typ sítě – stejnosměrný proud, 1., 2., nebo 3. fázový, dále může být síť vyvážená nebo smíšeného typu.

Kompletní síť se skládá z následujících komponent připojených dohromady, které můžeme postupně definovat:

„Nodes“ - výpočtové body v síti, umístěna tam, kde se připojují vodiče, nebo tam, kde jsou odběry nebo napájecí zdroje připojeny k síti. Ve vícefázových systémech, vícefázové uzly jsou seskupeny do fáze-skupin, jeden uzel souboru reprezentuje fázi.

„Connecting components“ - zapojení komponentů mezi jednotlivé uzly v síti. Jsou to linky, kabely, transformátory. Kromě dopravního výkonu, transformátor mění také napětí mezi dvěma uzly.

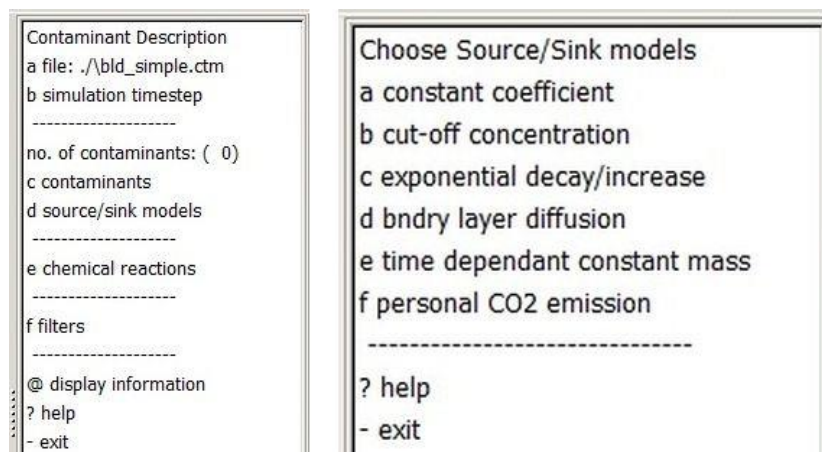
„HVAC/PV/Lights/Equipment and Power-only components“ - HVAC, PV, světla a zařízení jsou komponenty, které čerpají energii ze sítě a definovali jsme je již v jiné oblasti modelu (např. osvětlení, ventilátor...). Pouze výkonové komponenty naopak dodávají energii, např. elektrická větrná turbína nebo diesel agregát.

„Connections“ - připojení spojuje dva nebo více uzlů pomocí spojovacích součástí. Spoje jsou vícefázové, jednofázový, nebo vyvážené. Jednofázové komponenty mohou být použity ve vícefázových sadách uzlů, ale ne naopak.

4) „Contaminant“

Nejdříve musí být nadefinován tok sítě. Pokud máme splněno, můžeme určit koncentraci látek ve vzduchu. Nejdříve začínáme názvem (max. 12 znaků), dále označíme kontaminantu číslem a určíme koncentraci (kg/kg okolního vzduchu). Volíme mezi průměrnou koncentrací konstantní pro celý den, nebo zadáváme rozdílnou koncentraci pro každou hodinu v průběhu dne zvlášť. Dále zadáváme zdroj koncentrací. Zdrojů může být víc a výsledná koncentrace je pak jejich výsledkem. Druhy zdrojů:

- a) konstantní koeficient: pevně stanovená rychlost kontaminace G [kg/s]
- b) cut-off koncentrace: počáteční rychlost kontaminace se snižuje, až dosáhne mezní hodnoty
- c) exponenciální model - snížení / zvýšení v uzlu: určujeme časový krok, den, měsíc
- d) mezní vrstvy difúze: vyzařované množství z povrchu je dáno průměrným koeficientem přenosu hmoty [m/s], hustotou vzduchu [kg/m^3], vyzařující plochou [m^2], celkovou absorpční hmotností na jednotku plochy [kg/m^2], adsorpční koeficientem a počáteční koncentrací
- e) časově závislá konstanta: zadáváme konstantní množství znečištění [kg/s], den, měsíc a hodinu začátku kontaminace a také její konec
- f) emise CO_2 : buďto můžeme vzít hodnoty z příležitostných zisků, které jsou definované v provozních souborech, nebo zadáním informací o počtu lidí a jejich metabolické aktivitě (hodnota se udává číslem úrovně, což odpovídá danému fyzickému výkonu ve wattech - 1. úroveň = sedavé zaměstnání 100 W, 6. úroveň = velmi těžká práce 750 W), den, měsíc, hodinu začátku a konce, emise CO_2 z uzlu jsou pak automaticky vyhodnoceny



Obr. 52.: Kontaminace

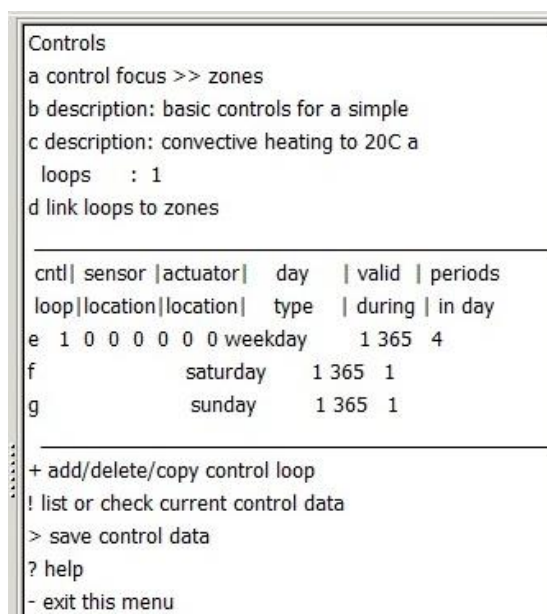
Dále můžeme určit výši nečistot v ovzduší, které vznikly v prostoru důsledkem reakcí mezi jednotlivými nečistotami. A pro jednotlivé nečistoty lze nastavit filtrace.

13.3.5.3 „Controls“

Poskytuje přístup k detailům zóny, jejich ovládacím prvkům jakož i k zařízení a kontrole průtoku. Přepínáním „Control focus“ se můžeme vždy zaměřit na požadovanou oblast - zóny, zařízení a systémy, síťový provoz, optika, globální systém, komplexní prosvětlovací.

Pro každý systém vždy zadáváme název (popis max. 248 znaků) a počet regulačních smyček. Pro každou smyčku počet dnů, pak pro každý den zahájení a datum ukončení platnosti. Počet kontrolních období, pak v každém období typ regulátoru, zákon řízení, čas spuštění, počet datových položek spojené s řízením a hodnoty jednotlivých údajů.

V každé zóně můžeme definovat dobu kontroly zvlášť pro všední dny, nebo třeba období (např. jiné v létě – období prázdnin, jiné v zimě).



Obr. 53.: Controls

13.3.5.4 „Actions“

Obsahuje úkoly pouze na modely, které jsou kompletní: vizualizace, simulace.

1) „Visualization“

Vizualizace podporuje výstup v podobě barevných obrázků v perspektivě nebo se skrytými čarami. Otevře se nové okno a vybíráme typ a požadované období, čas. Jedná se o rychlý způsob, jak získat obraz, který má slunce v typických místech na obloze (ráno nebo odpoledne, v létě nebo v zimě). Obrazy jsou buď pro exteriér, danou zónu v interiéru, nebo zdroje oslnění a faktor denního světla.

Výsledek může být pouze pro jeden okamžik v čase, nebo v pravidelných intervalech, po dobu jednoho dne. Můžeme nastavit parametry potřebné k vytvoření sady obrázků (velikost – pixely obrázků, časový krok), které mohou být kombinovány a vytvářet animaci (velice efektivní).

Ve vybrané oblasti pro vizualizaci můžeme i dodatečně upravovat vstupní hodnoty:

„Sky type, location & time“ - umožňuje výběr stavu nebe (slunečné, jasné, zatažené, přeháňky), datum a místo (zeměpisnou délku a šířku), odrazivost země. Aby bylo možné analyzovat stejný model podle jiných podmínek, zkopírujeme tuto scénu a znovu nastavíme podmínky nové.

„Outside & Zone composition“ - vytvoří popis modelu, z hlediska materiálů (vlastnosti povrchu) a geometrické kompozice. Můžeme zahrnout i fiktivní povrchy (sklo) a povrchy dále upravovat.

„Other (furniture & fittings)“ - ostatní (nábytek a příslušenství). Je možnost hodnoty procházet nebo soubor otevřít v textovém editoru.

„Scene view points“ - po výběru dané zóny nastavujeme zobrazení (poloha oka, směr a úhel pohledu), který může být použit jako počáteční zobrazení dat na interaktivní nebo statické moduly vytváření obrazu (scény).

„Scene parameter options“ - obraz lze nastavit s různou kvalitou a různou úrovní detailu. Dále definujeme úroveň světla. Může být nízká pro zóny, která jsou osvětlena svítidly, střední, pokud je difúzní střešní okno a vysoká pro přímé sluneční světlo. Záleží i na systému osvětlení (přímé umělé světlo, přímé nebo difúzní denní světlo). Zadáváme celkovou šířku obrázku v pixelech, jeho název. Celé nastavení si pak můžeme uložit do textového souboru.

„Render the scene“ - vykreslení scény.

„View visualization results“ - vizualizace výsledků.

2) „Simulation“

Zde definujeme parametry simulací, jakož i posouzení modelu. Názvy simulací mohou být definovány předem. Jednotlivé simulace lze pojmenovat různě a vytvoříme tak sady (např. pro zimu, jaro, léto, nebo nejteplejší den atd.). Můžeme tedy vytvářet posouzení pro konkrétní požadavky a mezi sebou je porovnávat. Daný soubor simulace lze snadno přejmenovat.

Dále zadáváme:

- začátek simulace, nebo se bere doporučená hodnota (první den), která je dána automaticky
- časový krok zóny v rozsahu od 1 do 60 za hodinu, pokud model zahrnuje časové definice dat, pak se doporučuje, pokud je to možné, nastavit simulaci tak, aby odpovídala hodnota používaná pro časové vymezení

- budeme také dotázáni, zda chceme uložit předpovědi v každém kroku nebo jen průměr dat jednou za hodinu, to může ušetřit spoustu místa na disku, ale ztrácíme některé zprávy
- časový krok zařízení na časový krok zóny (např. pokud máme 6 časových kroků za hodinu na straně stavby a 10 kroků na straně zařízení, tak simulace bude hodnocena jednou za minutu, výsledkem je celé číslo)
- úroveň ukládání určuje, kolik informací bude zapsáno do knihovny výsledků zóny:

úroveň 0 - souhrnná tabulka zapsána do souboru ASCII

úroveň 1 - pouze teploty zóny a zařízení

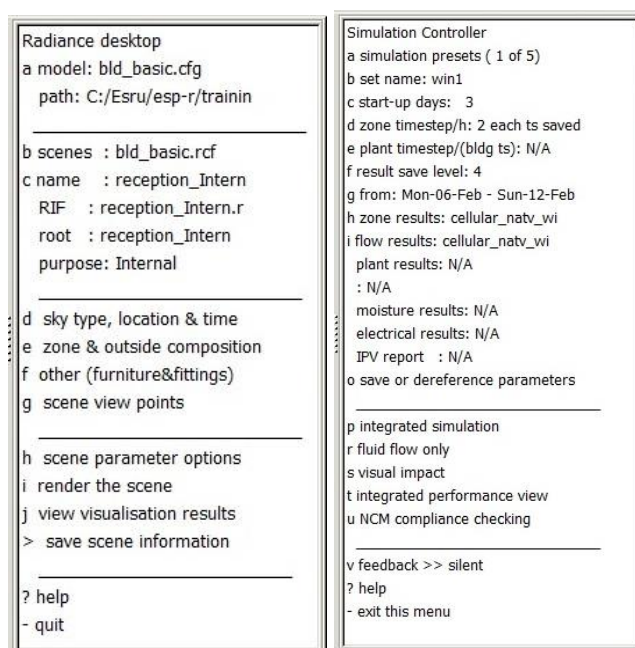
úroveň 2 - jako 1 + povrchové teploty v zóně

úroveň 3 - jako 2 + zónové teploty stavebních uzlů

úroveň 4 - jako 3 + zónové a povrchové energetické bilance

úroveň 6 - shrnutí databáze

- stanovení přesného data začátku a konce simulace (den a měsíc hodnocení)
- názvy výsledných souborů, které mají být vytvořeny



Obr. 54.: Vizualizace a Simulace

V normálně integrované simulaci zjišťujeme, které teplo, tekutiny, elektrická energie a světelné toky v rámci modelu mohou být hodnoceny. Integrovaná (sjednocená) simulace umožňuje vypočítat proudění kapaliny v rámci sítě, představující budovy a / nebo zařízení systému jako celku nebo jeho části.

Analýzu proudění lze provést přes uzlové síť nebo výpočetní dynamiku kapalin. Pokud existují a používáme pevné okrajové podmínky při řešení, analýza proudění pouze vyvolá hmotnostní průtok.

„Visual impact“ spustí aplikace E2R a vytvoří vizuální model z aktuálního ESP-r modelu.

„Integrated Performance View“ (IPV), tato volba může být použita ke spuštění souvisejících hodnocení (úkolů spojených s posuzováním). Můžeme dokonce porovnat dvě IPV zprávy a určit rozdíly mezi nimi. Tato zpráva obsahuje pro každou variantu:

- požadavek na teplo [$\text{kWh/m}^2/\text{rok}$] a celého modelu [kWh/rok], topný výkon [kW/m^2] a pro celý model [kW/rok]

- požadavek na chlazení [kWh/m²/rok] a celého modelu [kWh/rok], chladicí výkon [kW/m²] a pro celý model [kW/rok]
- rozdíl ve vytápění a chlazení podle oblastí a pro celý objekt

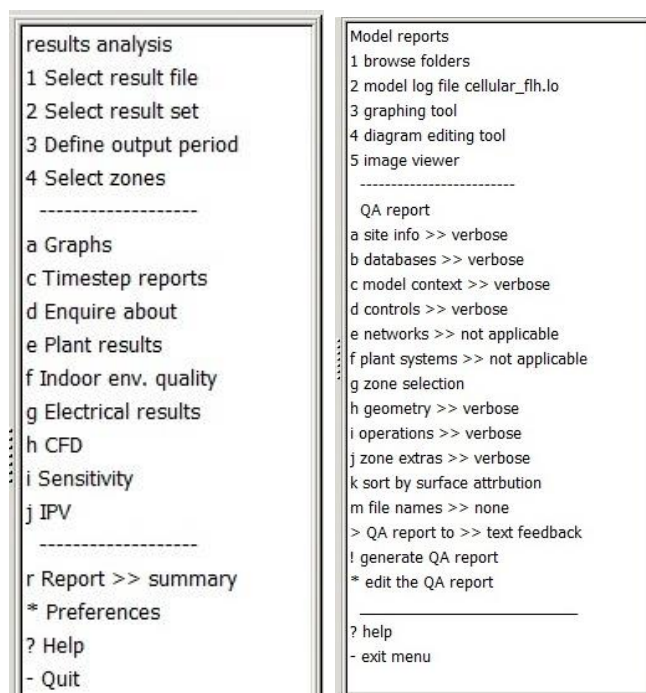
3) „Results analysis“

Výsledky analýzy jsou výsledky simulace zařízení k využití pro ESP-r. Vybíráme z několika možností (zpráva může být detailní, tichá nebo celkovým shrnutím):

1. „select result file“ - získáme přehled souborů, které jsou spojeny s modelem
 2. „select result set“ - vybíráme sadu výsledků
 3. „define output period“ - definujeme dobu
 4. „select zone“ - umožňuje vybrat jednu nebo více zón, které mají být zahrnuty do grafu nebo sestavy
- a) „graphs“ - možné je vybrat z více typů grafů s různými proměnnými
 - b) „time step reports“ - tabulkové výpisy údajů na každý krok přes zvolené období
 - c) „enquire about“ - dotazy např. statistiky, energetické bilance, výsledky zařízení (systémové komponenty a jejich výkonnostní hodnoty)
 - d) „indoor environment quality“ - kvalita vnitřního prostředí
 - e) „electrical results“ - elektrické výsledky
 - f) „CFD“ - v případě, že je doména CFD, 2D a 3D grafy a obrazy mohou být vytvořeny zde
 - g) „sensitivity“ - citlivost
 - h) „IPV“ - Integrated Performance View

4) „Results & QA reporting“

QA vytvoří zprávy o složení modelu. Za normálních okolností jsou zprávy generovány ze standardního vzoru a upraveny tak, aby odpovídaly aktuálnímu projektu.



Obr. 55.: Výsledky a Zpráva

13.4 Simulace

Pro simulování solárního systému RD ve městě Rhoon bylo zapotřebí nejdříve obstarat klimatická data z dané oblasti upravená do příslušného formátu. Na stránkách Weather underground ^[30] v historických datech jsem získala klimatická data pro Rotterdam v průběhu roku 2012. Data jsou uvedena pro jednotlivé dny v časovém kroku pěti minut.

```
Time, TemperatureC, DewpointC, PressurePa, WindDirection, WindDirectionDegrees, WindSpeedKMH, WindSpeedGustKMH, Humidity, HourlyPrecipMM, Conditions, Clouds, dailyrainMM, SolarRadiationWatts/m^2, Software Type, DateUTC
2012-12-01 00:00:00,4.7,3.8,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:00:00,
2012-12-01 00:05:00,4.7,3.8,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.05,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:05:00,
2012-12-01 00:10:00,4.7,3.8,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.10,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:10:00,
2012-12-01 00:15:00,4.7,3.8,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.15,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:15:00,
2012-12-01 00:20:00,4.6,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.20,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:20:00,
2012-12-01 00:25:00,4.6,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.25,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:25:00,
2012-12-01 00:30:00,4.6,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.30,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:30:00,
2012-12-01 00:35:00,4.6,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.35,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:35:00,
2012-12-01 00:40:00,4.5,3.6,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.40,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:40:00,
2012-12-01 00:45:00,4.5,3.6,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.45,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:45:00,
2012-12-01 00:50:00,4.5,3.6,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.50,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:50:00,
2012-12-01 00:55:00,4.5,3.6,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.55,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-11-30 23:55:00,
2012-12-01 01:00:00,4.5,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.01,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-12-01 00:00:00,
2012-12-01 01:05:00,4.6,3.7,1010.7,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.05,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-12-01 00:05:00,
2012-12-01 01:10:00,4.6,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.10,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-12-01 00:10:00,
2012-12-01 01:15:00,4.6,3.7,1010.7,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.15,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-12-01 00:15:00,
2012-12-01 01:25:00,4.6,3.7,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.25,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-12-01 00:25:00,
2012-12-01 01:30:00,4.7,3.8,1010.4,severni,0.0,0.0,0.94,0.0,0.0,0.30,0.0,0.0,0.0,WeatherDisplay: WD co,2012-12-01 00:30:00,
```

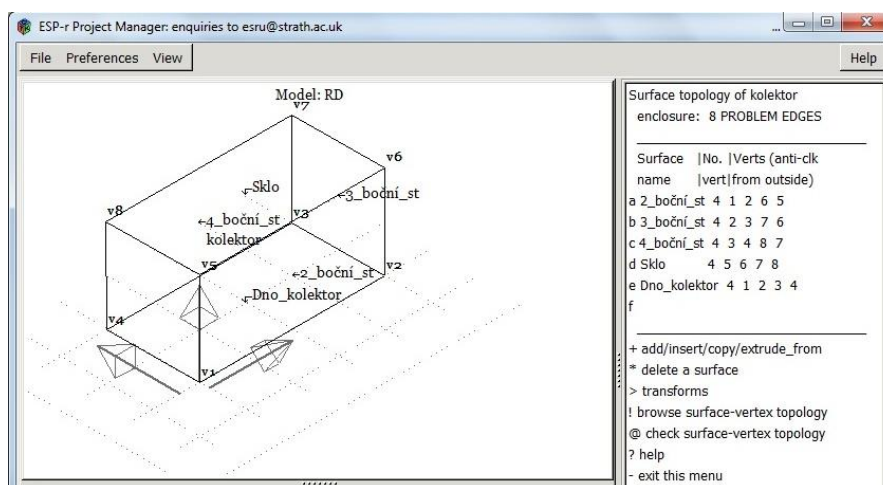
Obr. 56.: Klimatická data

Poté jsem se rozhodla, že vytvořím model kolektoru. Kolektor bude nadefinován jako jedna zóna o vhodných rozměrech odpovídající standartní velikosti solárního plochého panelu:

Šířka: 1 m, Délka: 2 m, Výška: 0,1 m

V místnosti bude nadefinována teplota a vlastnosti teplotnosné kapaliny. Čelní stěna bude odpovídat svými optickými vlastnostmi zasklení. Ostatní stěny budou neprůhledné. Na základě orientace, sklonu a venkovním podmínkám (získané z klimatických dat) budeme moct simulovat chování teplotnosné kapaliny a sledovat její postupný ohřev.

Vzhledem k uživatelsky velmi nepřívětivé prostředí a k nedostatečné znalosti programu se mi bohužel tento postup nezdařil (přesněji se mi nepodařilo zadat vlastnosti teplotnosné kapaliny a rozměry kolektoru mohli být zadány pouze v jednotkách celého metru a proto by model neodpovídal skutečným).



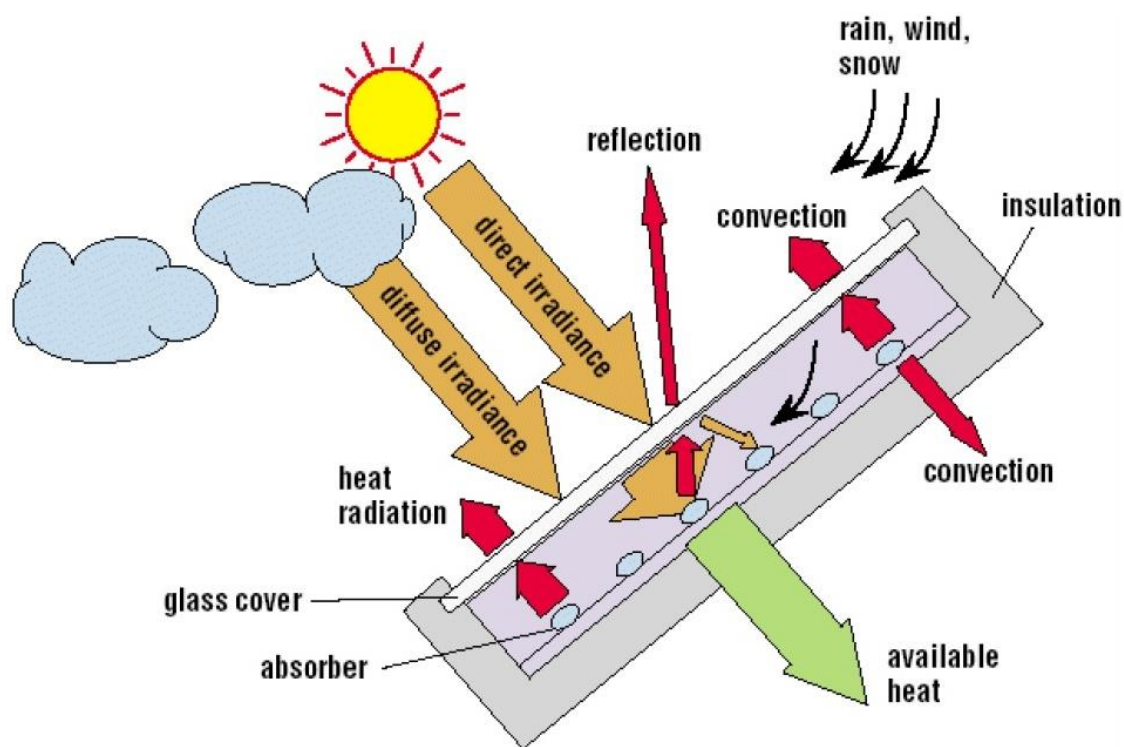
Obr. 57.: Simulace kolektoru v programu ESP-r

14 SIMULACE KOLEKTORU

K simulaci samostatného kolektoru jsem zvolila vhodnější program Kolektor 2.2 ^[17]. Obdobným programem je např. CoDePro ^[14]. Tyto programy jsou návrhovým nástrojem, který vytváří matematický jednorozměrný model plochých solárních tepelných kolektorů. Mají také daleko více uživatelsky přístupné prostředí (v porovnání s programem ESP-r) a na internetu jsou dostupné bez poplatku.

14.1 Energetická bilance tepelných toků

Matematický model kolektoru v programu, je založen na energetické bilanci tepelných toků z povrchu absorbéru do okolního prostředí (vnější bilance) a z povrchu absorbéru do teplotnosné látky (vnitřní bilance), na základě fyzikálních vlastností jednotlivých částí kolektoru. Podmínkou k přenosu tepla je přítomnost teplotního rozdílu.



Obr. 58.: Energetická bilance tepelných toků ^[45]

Základem energetických toků v kolektoru je sluneční záření. Roli hraje sluneční záření přímé i difuzní (rozptýlené). Část tohoto záření je odražena zpět do venkovního prostoru (odraz na zasklení a odraz na absorbéru) a část je přeměna na teplo a přes zasklení prostupuje dále do kolektoru. Toto teplo je dále odvedeno teplotnosnou látkou, nebo se změní na tepelné ztráty, nebo je naakumulováno kolektorem.

Vnější energetické bilance ovlivňuje:

- součinitel prostupu tepla U : tepelné ztráty kolektoru zasklením, bočními a zadními stěnami
- kvalita obálky kolektoru (absorbéru)

Vnitřní energetické bilance ovlivňuje:

- schopnost odvést teplo z absorbéru – účinnostní součinitel F'
- kvalita konstrukce absorbéru

Využitelný tepelný výkon se tedy, za předpokladu ustáleného stavu, rovná výkonu dopadajícího slunečního záření Q_s sníženého o optické $Q_{z,o}$ a tepelné ztráty $Q_{z,t}$.

$$Q_k = Q_s - Q_{z,o} - Q_{z,t} \quad (C. 1.)$$

Výkon dopadajícího slunečního záření závisí na intenzitě slunečního záření G [W/m^2] a na ploše apertury A_p [m^2].

$$Q_s = G * A_p \quad (C. 2.)$$

Optické ztráty kolektoru opět závisí na velikosti intenzity slunečního záření G [W/m^2] a na ploše apertury A_p [m^2] a dále na propustnosti slunečního záření zasklení solárního kolektoru τ [-] a pohltivosti slunečního záření absorbéru α [-].

$$Q_{z,o} = (1 - \tau * \alpha) * G * A_p \quad (C. 3.)$$

Ztráty odrazem na každém rozhraní sklo-vzduch při kolmém dopadu tvoří asi 4 %. Musíme tedy počítat minimálně s 9 % ztrát na každém kolektoru ^[10]. Při použití antireflexní ochrany na povrchu (vrstva s výrazně nižším indexem lomu) tvoří optické ztráty z celkové ztráty pouze cca 4 %. Propustnost a pohltivost absorbéru jsou dohromady označovány jako optická účinnost.

Celkové tepelné ztráty kolektoru se rovnají součtu tepelných ztrát přední strany (přes zasklení), zadní a boční strany kolektoru (přes tepelnou izolaci). Z toho tepelné ztráty zasklením tvoří cca 75-85 %. Závisí na součinitelích přestupu tepla jednotlivých stran kolektoru U [$W/(m^2 \cdot K)$] a příslušných plochách. Dále je to střední teplota povrchu absorbéru t_{abs} [$^{\circ}C$] a teplota okolního vzduchu t_e [$^{\circ}C$].

$$Q_{z,t} = U_p * A_p * (t_{abs} - t_e) + U_z * A_p * (t_{abs} - t_e) + U_b * A_b * (t_{abs} - t_e) \quad (C. 4.)$$

Za ustálených podmínek je tedy účinnost kolektoru vyjádřena jako poměr výkonu odváděného teplotnosnou kapalinou z kolektoru Q_k k dopadajícímu slunečnímu záření Q_s .

$$\eta = \frac{Q_k}{Q_s} \quad (C. 5.)$$

Ve vztahu C. 5. ovšem není zohledněna konstrukce a geometrie absorbéru, vliv průtoku teplotnosné kapaliny atd. A střední teplotu absorbéru lze určit jen velmi obtížně. V teoretickém výpočtu je tato hodnota zaměněna za střední teplotu teplotnosné kapaliny t_m . Pokud však vztah C. 5. přenásobíme účinnostním součinitelem kolektoru F' , lze teplotu t_{abs} zaměnit za teplotu t_m . Hodnota součinitele F' je závislá na geometrii absorbéru (registru), na tepelných vlastnostech absorbéru a na přestupu tepla v trubkách registru.

$$\eta = F' * [\tau * \alpha - U \frac{(t_{abs} - t_e)}{G}] \quad (C. 6.)$$

Dalším zjednodušujícím modelem je teplotně nezávislý součinitel prostupu tepla kolektoru na teplotním rozdílu, nebo rozložení teplot na povrchu absorbéru.

Výpočetní programy KOLEKTOR 2.2 nebo CoDePro ve svém přístupu tyto vlastnosti zahrnují.

14.2 Součinitel přestupu tepla

Mezi další zjednodušení, která se v praxi využívají, je stanovení hodnoty součinitele přestupu tepla na vnější straně α_e [W/(m²·K)]. Tento součinitel ovlivňuje velikost součinitele prostupu tepla U (dále pak stagnační teplotu a celkovou účinnost kolektoru). Výrobci kolektorů je však udávána až celková hodnota lineárního součinitele tepelné ztráty prostupem U_1 (a_1) [W/(m²·K)] a kvadratický součinitel tepelné ztráty sáláním U_2 (a_2) [W/(m²·K²)].

Součinitel α_e obecně závisí na vlastnostech proudící kapaliny (tepelná vodivost kapaliny λ [W/(m·K)], měrná tepelná kapacita c [J/(kg·K)], viskozita η [m²/s] a hustota kapaliny ρ [kg/m³]), povrchu a na rozložení teplot a rychlosti proudění kapaliny v okolí. Při přirozeném proudění (na základě rozdílných hustot) je přestup tepla často ovlivňován dalšími nežádoucími faktory. Patří sem povětrnostní podmínky (rychlost větru w [m/s]).

$$\alpha = f(\lambda, c, \eta, \rho, w) \quad (\text{C. 7.})$$

Rychlost větru v oblasti Rotterdamu je průměrně relativně nízká. Ale v nárazech se pohybuje i okolo 30 km/hod (maximum v roce 2012 je 103 km/hod). Pro přehlednost je tabulka 20 barevně rozdělena dle průměrné rychlosti větru.

	0 - 0,5 [m/s]
	0,5 - 1 [m/s]
	1 - 1,5 [m/s]
	1,5 - 2 [m/s]
	2 - 3 [m/s]

Převažující směr větru je severní (tabulka 21). Proměnlivost směru se jeví vždy až v odpoledních hodinách (směr větru především východní). Na účinnost kolektoru tento poznatek však nemá velký vliv (kolektory jsou otočeny na jih, ze severu jsou stíněny RD).

	0 - 2 [m/s]	↓	North
	2 - 4 [m/s]	↘	North-east
	4 - 6 [m/s]	←	East
	6 - 8 [m/s]	↙	East-south
		↑	South
		↗	South-west
		→	West
		↘	West-north

Průměrná intenzita větru za den [m/s]													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Den	1	0.00	1.39	0.00	1.11	0.83	0.83	0.83	0.83	0.28	0.83	0.83	0.56
	2	1.39	1.11	0.00	0.83	0.00	0.00	0.83	1.11	0.56	0.83	0.83	0.56
	3	0.00	0.56	0.00	0.56	0.56	0.00	0.56	0.28	0.56	0.56	0.56	0.00
	4	1.67	0.28	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	1.11	0.56	1.11	0.56	0.83
	5	1.67	0.56	0.00	0.83	0.56	0.56	0.28	0.00	1.11	0.83	0.56	0.00
	6	1.39	0.56	0.83	1.11	0.56	1.11	0.83	1.11	0.56	0.83	1.11	0.28
	7	1.94	1.11	0.00	0.83	0.83	0.00	0.83	0.83	0.83	0.83	0.00	0.00
	8	1.39	0.56	1.67	0.83	0.56	2.78	0.83	0.56	0.28	0.83	0.56	0.28
	9	0.00	0.28	0.83	0.00	0.56	0.00	0.83	0.56	0.56	0.56	0.28	0.28
	10	0.56	0.83	0.56	0.83	0.28	0.56	0.83	0.56	0.56	0.28	0.00	0.56
	11	0.00	0.83	0.83	0.28	1.11	0.28	1.11	0.56	0.83	0.83	0.56	0.28
	12	0.56	0.00	0.83	0.83	1.11	0.00	1.67	0.83	1.11	1.11	0.00	0.83
	13	1.39	0.00	0.00	0.56	0.56	1.67	1.11	0.28	0.83	0.28	0.00	0.56
	14	0.56	1.11	0.28	1.11	1.11	0.28	0.00	0.28	0.83	1.11	0.56	0.00
	15	0.28	1.67	0.56	1.39	0.00	0.56	1.11	0.83	0.83	1.11	0.00	1.11
	16	0.56	0.83	0.00	1.11	1.67	1.11	0.56	0.56	0.56	1.39	0.00	0.28
	17	0.56	0.83	0.83	0.00	0.00	0.56	1.39	0.56	0.56	0.56	0.00	0.00
	18	0.00	0.00	1.11	1.94	0.83	0.83	1.11	0.56	1.11	0.00	0.28	0.00
	19	0.56	1.11	1.11	0.56	0.00	0.00	1.39	0.56	1.39	0.28	0.00	0.00
	20	1.39	1.11	0.83	0.83	1.11	1.11	0.83	0.56	0.56	0.28	1.11	0.00
	21	0.28	1.11	0.28	0.56	0.83	0.00	1.11	0.56	0.28	0.00	0.28	0.00
	22	1.67	1.11	0.83	1.11	1.39	2.22	0.56	1.11	0.83	0.28	1.11	0.00
	23	1.39	0.56	0.28	1.11	0.00	0.83	0.56	0.56	0.00	0.28	0.00	0.00
	24	0.28	0.00	0.83	0.56	0.56	0.00	0.00	0.28	1.67	0.28	0.00	0.00
	25	0.00	1.39	0.56	0.00	0.00	1.94	1.11	1.11	1.67	0.56	1.11	0.56
	26	0.00	0.00	0.83	1.94	0.83	0.28	0.56	1.67	1.39	1.11	0.28	0.83
	27	0.83	0.28	0.56	0.56	0.56	0.56	0.00	1.11	0.83	1.11	0.56	0.28
	28	0.28	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.56	0.83	0.83	0.83	0.56	0.00
	29	0.56	0.00	0.56	0.56	0.56	1.11	1.11	0.83	1.67	0.28	0.56	0.83
	30	0.00		0.00	0.83	0.83	0.83	1.11	0.56	1.11	0.00	0.28	1.11
	31	1.11		1.67		0.00		0.00	1.67		1.11		0.00

Tabulka 20.: Průměrná intenzita větru za den [m/s] (rok 2012)

Převažující směr větru v průběhu dne													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Den [hod]	0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	1	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	9	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	10	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	11	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	12	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→	↗	↓	↓
	14	↓	↓	↘	↓	↓	↓	↗	↗	→	↗	↓	↓
	15	↓	→	↘	↓	↓	↓	→	↗	→	→	↓	↓
	16	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→	→	→	→	↓	↓
	17	↓	↓	↘	↑	↓	↓	→	→	→	↓	↓	↓
	18	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→	→	→	↓	↓	↓
	19	↓	↓	↓	↓	↓	↓	→	→	→	↓	↓	↓
	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	21	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	22	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	23	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Tabulka 21.: Převažující směr větru v průběhu dne (rok 2012)

S rostoucí rychlostí větru součinitel přenosu tepla nabývá vyšších hodnot a přenos tepla je intenzivnější. V závislosti na rychlosti větru je součinitel přestupu tepla na vnější straně pro rychlost do 5 m/s ^[24]:

$$\alpha_e = 7,2 * w^{0,78} \quad (C. 8.)$$

Pro vyšší rychlost, nad 5 m/s:

$$\alpha_e = 5,62 + 3,9 * w \quad (C. 9.)$$

Dle průměrných hodnot rychlostí větru z tabulky 20 lze v tabulce 22 sledovat proměnlivost součinitele. Nelze tedy počítat pouze s jednou průměrnou hodnotou pro celé období.

	3 [W/(m ² ·K)]
	3 - 6 [W/(m ² ·K)]
	6 - 9 [W/(m ² ·K)]
	9 - 12 [W/(m ² ·K)]
	12 - 15 [W/(m ² ·K)]

Pro hodnoty rychlosti větru v průběhu roku 2012 se součinitel přestupu tepla pohybuje v rozmezí od 0 do 13,45 W/(m²·K). Pro nulovou a velmi nízkou hodnotu rychlosti větru ovšem nelze počítat s nulovou hodnotou součinitele. V tomto případě by se uvažovala minimální hodnota 3 W/(m²·K).

Dle jiného přístupu ^[8] součinitel přestupu tepla závisí nejen na rychlosti vzduchu, ale ve vztahu se objevuje i velikost obtékané desky L [m] a součinitel A, který zahrnuje fyzikální parametry závisící pouze na teplotě (vztah C. 10. platí pro suchý vzduch v rozmezí teplot 0 – 300 °C).

$$\alpha_e = A * \left(\rho * \frac{w}{L} \right)^{0,5} \quad (C. 10.)$$

$$A = 0,0045 * t + 3,46 \quad (C. 11.)$$

Příliš zjednodušené modely neberou v úvahu významné vlivy a jsou pak neporovnatelné s experimentálně zjištěnými charakteristikami zkoušených kolektorů. Pokud pak po realizaci nastane vyšší teplotní spád mezi kolektorem a okolním prostředím vznikají odchylky od teoretického výpočtu. Vhodné je určit kompromis, který lze nalézt v simulačních programech Kolektor a CoDePro. V programu CoDePro však nelze vhodně (bez zjednodušení) nasimulovat kolektory integrované do obvodového pláště budovy, vakuové ploché kolektory, nebo solární kolektory s prosklením z transparentní struktury.

Součinitel přestupu tepla v závislosti na rychlosti větru [$W/(m^2 \cdot K)$]													
Měsíc		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Den	1	3.00	9.30	3.00	7.82	6.25	6.25	6.25	6.25	3.00	6.25	6.25	4.55
	2	9.30	7.82	3.00	6.25	3.00	3.00	6.25	7.82	4.55	6.25	6.25	4.55
	3	3.00	4.55	3.00	4.55	4.55	3.00	4.55	3.00	4.55	4.55	4.55	3.00
	4	10.72	3.00	3.00	3.00	3.00	6.25	3.00	7.82	4.55	7.82	4.55	6.25
	5	10.72	4.55	3.00	6.25	4.55	4.55	3.00	3.00	7.82	6.25	4.55	3.00
	6	9.30	4.55	6.25	7.82	4.55	7.82	6.25	7.82	4.55	6.25	7.82	3.00
	7	12.09	7.82	3.00	6.25	6.25	3.00	6.25	6.25	6.25	6.25	3.00	3.00
	8	9.30	4.55	10.72	6.25	4.55	15.97	6.25	4.55	3.00	6.25	4.55	3.00
	9	3.00	3.00	6.25	3.00	4.55	3.00	6.25	4.55	4.55	4.55	3.00	3.00
	10	4.55	6.25	4.55	6.25	3.00	4.55	6.25	4.55	4.55	3.00	3.00	4.55
	11	3.00	6.25	6.25	3.00	7.82	3.00	7.82	4.55	6.25	6.25	4.55	3.00
	12	4.55	3.00	6.25	6.25	7.82	3.00	10.72	6.25	7.82	7.82	3.00	6.25
	13	9.30	3.00	3.00	4.55	4.55	10.72	7.82	3.00	6.25	3.00	3.00	4.55
	14	4.55	7.82	3.00	7.82	7.82	3.00	3.00	3.00	6.25	7.82	4.55	3.00
	15	3.00	10.72	4.55	9.30	3.00	4.55	7.82	6.25	6.25	7.82	3.00	7.82
	16	4.55	6.25	3.00	7.82	10.72	7.82	4.55	4.55	4.55	9.30	3.00	3.00
	17	4.55	6.25	6.25	3.00	3.00	4.55	9.30	4.55	4.55	4.55	3.00	3.00
	18	3.00	3.00	7.82	12.09	6.25	6.25	7.82	4.55	7.82	3.00	3.00	3.00
	19	4.55	7.82	7.82	4.55	3.00	3.00	9.30	4.55	9.30	3.00	3.00	3.00
	20	9.30	7.82	6.25	6.25	7.82	7.82	6.25	4.55	4.55	3.00	7.82	3.00
	21	3.00	7.82	3.00	4.55	6.25	3.00	7.82	4.55	3.00	3.00	3.00	3.00
	22	10.72	7.82	6.25	7.82	9.30	13.42	4.55	7.82	6.25	3.00	7.82	3.00
	23	9.30	4.55	3.00	7.82	3.00	6.25	4.55	4.55	3.00	3.00	3.00	3.00
	24	3.00	3.00	6.25	4.55	4.55	3.00	3.00	3.00	10.72	3.00	3.00	3.00
	25	3.00	9.30	4.55	3.00	3.00	12.09	7.82	7.82	10.72	4.55	7.82	4.55
	26	3.00	3.00	6.25	12.09	6.25	3.00	4.55	10.72	9.30	7.82	3.00	6.25
	27	6.25	3.00	4.55	4.55	4.55	4.55	3.00	7.82	6.25	7.82	4.55	3.00
	28	3.00	3.00	7.82	3.00	3.00	3.00	4.55	6.25	6.25	6.25	4.55	3.00
	29	4.55	3.00	4.55	4.55	4.55	7.82	7.82	6.25	10.72	3.00	4.55	6.25
	30	3.00	3.00	3.00	6.25	6.25	6.25	7.82	4.55	7.82	3.00	3.00	7.82
	31	7.82		10.72		3.00		3.00	10.72		7.82		3.00

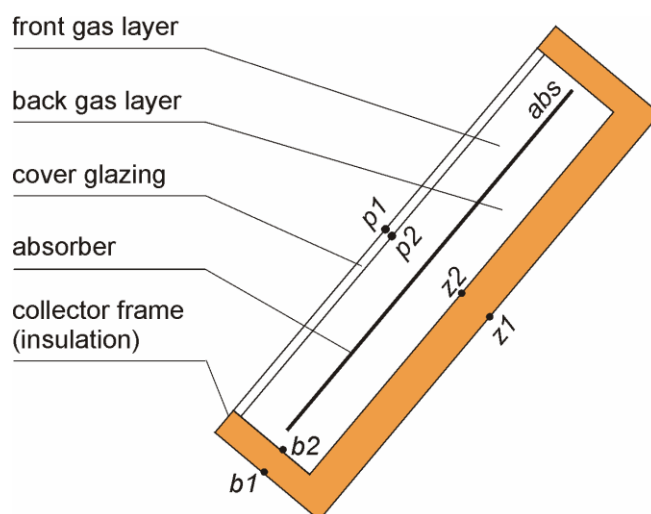
Tabulka 22.: Součinitel přestupu tepla v závislosti na rychlosti větru [$W/(m^2 \cdot K)$]

14.3 Obecný popis programu KOLEKTOR

Program byl vytvořen doc. Ing. Matuškou, Ph.D. a doc. Ing. Zmrhalem, Ph.D. v prostředí Visual Basic Studio. Má využití pro návrh nových konstrukcí a modelování charakteristiky účinnosti plochého kapalinového solárního kolektoru. Je vhodný také ke zjištění informací o vlivu různých parametrů na výkon kolektoru (např. změna konstrukce, volba různých modelů výpočtu součinitelů přestupu tepla...).

Pomocí nástrojových karet se zadávají jednotlivé parametry kolektoru, provozní a klimatické podmínky (sluneční ozáření G [W/m^2], teplota okolí t_a [$^{\circ}\text{C}$], rychlost větru w [m/s]). Mezi provozní parametry patří teplota teplonosné kapaliny t_{in} [$^{\circ}\text{C}$] na vstupu do kolektoru a její průtok [$\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$]. Lze také zadat konkrétní typ konstrukčního spojení absorberu a trubkového registru a typ teplonosné kapaliny (případně směs dvou kapalin).

Základem v matematickém modelu je pomocí iterace určení hodnot středních teplot v základních rovinách. Mezi základní roviny patří rovina zasklení (vnější p_1 a vnitřní p_2 povrch), rovina absorberu (abs) a rovina rámu (vnější z_1 a vnitřní z_2 povrch).



Obr. 59.: Základní roviny kolektoru ^[17]

Výstupem programu je výsledný tepelný výkon [W], teplota kapaliny na výstupu z kolektoru [$^{\circ}\text{C}$] a křivka účinnosti pro daný teplotní rozsah (se stagnační teplotou kolektoru) vždy pro konkrétní klimatické podmínky.

Křivku účinnosti lze vyjádřit v závislosti na rozdílu:

- střední teploty teplonosné látky a okolí $(t_m - t_a)/G$
- teploty teplonosné látky na vstupu do kolektoru a okolí $(t_{in} - t_a)/G$ (vhodné pro simulace solárních soustav)
- střední teploty absorberu $(t_{abs} - t_a)/G$

14.4 Struktura programu

Program je pouze v angličtině. Veškeré vstupní parametry zadáváme do čtyř tabulkových oken: Design parameters, Absorber, Glazing and insulation a Calculation.

14.4.1 Design parameters

V tomto okně zadáváme provozní a klimatické podmínky, rozměry kolektoru včetně polohy absorberu a volíme typ instalace.

Teplota vstupní kapaliny se bude během roku měnit. Teplota studené vody bude v létě minimálně 15 °C, v zimě minimálně 10 °C. V závislosti proměnlivosti klimatických podmínek se bude v průběhu roku měnit také globální sluneční záření, teplota okolí, okolní relativní vlhkost a rychlost větru. Specifický hmotnostní průtok kapaliny bude 0,0143 kg/(s·m²). Dle vypočtené účinnosti lze ověřit správnost zvoleného sklonu kolektoru v teoretickém výpočtu.

Klimatické údaje jsem jako příklad zvolila pro měsíc květen (v teoretickém návrhu). Kolektor je umístěn na ploché střeše. Velikost kolektoru dle parametrů výrobce zvoleného typu v teoretickém návrhu.

Kolektor 2.2

File Calculation Help

Design parameters | Absorber | Glazing and insulation | Calculation

Operation and climatic conditions

Input fluid temperature	t_{in}	19	°C
Specific fluid mass flow rate	m'	0.0143	kg/s/m ²
Global solar irradiation	G	543.2	W/m ²
Ambient temperature	t_a	14.08	°C
Ambient relative humidity	φ_a	84	%
Wind velocity	w	1.39	m/s
Collector slope	β	37	deg
Adjacent frontal surface emissivity	ε_{as}	0.8	-

Collector dimensions

Gross height	L_g	2.017	m
Gross width	H_g	1.175	m
Gross area	A_g	2.37	m ²
Aperture height	L_a	1.971	m
Aperture width	H_a	1.105	m
Aperture area	A_a	2.18	m ²

Type of collector installation

☒ Separate
☐ Integrated into building envelope

Collector depth

Absorber-glazing gap thickness	d_p	20	mm
Absorber-frame gap thickness	d_z	20	mm
Collector depth	B	0.09	m
Edge sides area	A_b	0.6	m ²

Diagram: A 3D perspective view of the solar collector showing its rectangular shape, tilted at an angle β . Labels include G (global solar irradiation), t_a (ambient temperature), w (wind velocity), L_g (gross height), L_a (aperture height), H_g (gross width), H_a (aperture width), B (collector depth), A_b (edge sides area), β (collector slope), p_1 , p_2 (pressure points), z_1 , z_2 (height points), d_p (absorber-glazing gap thickness), d_z (absorber-frame gap thickness), ε_0 (emissivity), and 'abs' (absorber).

VZTech

D:\Vysoká\Diplomka\KOLEKTOR\balance roční\teorie Květen 30/12/2013 12:55:30

Obr. 60.: Design parameters

14.4.2 Absorber

Z údajů udávaných v technickém listu výrobce kolektoru se dozvíme emisivitu $95 \% \pm 2$ a absorpci $5 \% \pm 2$ kolektoru (viz příloha A. 6.). Materiál absorberu je měď. Vedení potrubí v kolektoru je provedeno jako dvojité meandr, ale bližší informace o uložení potrubí nám výrobce neudává. Proto ostatní potřebné hodnoty byly zadány na základě doporučených hodnot zobrazených přímo v programu.

Kolektor 2.2

File Calculation Help

Design parameters Absorber Glazing and insulation Calculation

Absorber parameters

Material: Copper

Solar absorptance: α_{abs} 0.95

Thermal conductivity: λ_{abs} 390 W/mK

Front surface emissivity: $\varepsilon_{abs,p}$ 0.05

Thickness: d_{abs} 0.2 mm

Back surface emissivity: $\varepsilon_{abs,z}$ 0.5

Pipe register parameters

Length of riser pipes: L 1.971 m

Number of riser pipes: ntp 10 pcs

Distance between riser pipes (fin): W 110.5 mm

Pipe external diameter: De 10 mm

Pipe internal diameter: Di 8 mm

Type of bond: Upper

Average bond width: a 3 mm

Average bond thickness: b 3 mm

Bond thermal conductivity: λ_{sp} 300 W/mK

Bond thermal conductance: C sp 300 W/mK

Collector mass flow rate: M' 0.0311 kg/s

Pipe mass flow rate: M1' 0.0031 kg/s

Heat transfer fluid

Fluid type: Propyleneglycol

Mixing ratio: 20 % 80 %

Freezing temperature: t_f 0 °C

VZTech

C:\Users\J\Desktop\kolektor.kol 16/12/2013 12:10:32

Obr. 61.: Absorber

14.4.3 Glazing and insulation

Materiál zasklení kolektoru je sklo. Tloušťka je přibližně 4 mm. Optické vlastnosti volím dle doporučení. Pohltivost 92 %, odrazivost přímého slunečního záření 6 %. Emisivita vnějšího a vnitřního povrchu je 85 %.

Předpoklad použitého izolačního materiálu z polyuretanu o tloušťce 50 mm.

Program však neumožňuje zadat typ plynu uvnitř kolektoru. Pro tento typ kolektoru je použit inertní plyn argon.

Kolektor 2.2

File Calculation Help

Design parameters | Absorber | Glazing and insulation | Calculation

Glazing parameters

Material: Glass

Thickness: d_{gl} 4 mm

Normal solar transmittance: τ_n 0.92 -

Normal solar reflectance: ρ_n 0.06 -

Diffuse solar reflectance: ρ_d 0.6 -

External surface emissivity: ε_{p1} 0.85 -

Internal surface emissivity: ε_{p2} 0.85 -

Thermal properties

☒ Thermal conductivity

☐ Thermal resistance

Thermal conductivity: λ 0.8 W/mK

$\lambda = \lambda_0 + \lambda_1 t + \lambda_2 t^2$

λ_1 0 W/mK²

λ_2 0 W/mK³

Frame / insulation parameters

Material: Polyurethane

Thickness: d_{fr} 50 mm

Thermal conductivity: λ_{fr} 0.035 W/mK

Thermal resistance: R_{fr} 1.43 m²K/W

External frame surface emissivity: $\varepsilon_{f,z1}$ 0.5 -

Internal frame surface emissivity: $\varepsilon_{f,z2}$ 0.5 -

Gas filling of collector interior

Type of gas: Air

Gas pressure: 100 kPa

Optical efficiency of collector

Effective $\tau\alpha$ product: 0.874 -

VZTech

C:\Users\J\Desktop\kolektor.kol 16/12/2013 12:10:32

Obr. 62.: Glazing and insulation

14.4.4 Calculation

Na čtvrté kartě programu po stisknutí tlačítka *Calculate* se provede výpočet ze zadaných parametrů. Můžeme zde volit počet kroků v iteraci. Pro stanovení optimálních výsledků je počet kroků minimálně deset. Volit můžeme i model výpočtu (různé přístupy) součinitele přestupu tepla uvnitř v kolektoru. Rozcházející se výsledky je vhodné ověřit, jak velký mají vliv na přenos tepla.

Přenosové hodnoty součinitelů mezi jednotlivými rovinami kolektoru pak můžeme získat zvolením výpočtu pro jeden pracovní bod (automaticky se volí vstupní teplota teplonosné látky do kolektoru). Nebo výsledkem výpočtu je standardní křivka účinnosti kolektoru. V tomto případě je vypočítána i stagnační teplota kolektoru.

Vypočtené hodnoty lze uložit do tabulkového procesoru např. Excel po rozkliknutí odkazu *Calculation a Results export*.

The screenshot shows the 'Kolektor 2.2' software window with the 'Calculation' tab selected. The interface is organized into three main vertical sections: GLAZING, ABSORBER, and FRAME / INSULATION. Each section contains input fields for various parameters and calculation results. The GLAZING section includes inputs for ambient temperature (ta = 14 °C), glazing temperatures (tp1 = 105.4 °C, tp2 = 113.4 °C), and heat transfer coefficients (hs = 7.246 W/m2K, hp = 10.30 W/m2K). The ABSORBER section includes inputs for absorber temperature (tout = 382.5 °C), absorber temperatures (tz2 = 354.4 °C, tz1 = 31.57 °C), and heat transfer coefficients (hs = 1.602 W/m2K, hp = 4.776 W/m2K). The FRAME / INSULATION section includes inputs for frame temperatures (tz2 = 354.4 °C, tz1 = 31.57 °C) and heat transfer coefficients (hs = 19.15 W/m2K, hp = 2.577 W/m2K). The bottom section contains a 'Forced convection in pipes' section with dropdowns for Laminar (Shah) and Turbulent (Colburn) models, and a 'Calculation' section with radio buttons for 'For given tin' and 'Efficiency curve calculation'. A 'Calculate' button is located at the bottom right. The status bar at the bottom shows the file path 'D:\Vysoká\Diplomka\KOLEKTOR\balance roční\teorie Květen' and the date/time '30/12/2013 12:55:30'.

Obr. 63.: Calculation - efficiency curve calculation

Stagnační teplota je 233 °C. Ke stagnaci dochází v případě, že se neodvádí teplo z kolektorů a dochází k přehřívání kolektoru. A dále k varu teplonosné látky v kolektoru.

Kolektor 2.2

File Calculation Help

Design parameters | Absorber | Glazing and insulation | Calculation

GLAZING **ABSORBER** **FRAME / INSULATION**

ta = 14 °C tp1 = 17.13 °C tp2 = 17.36 °C tout = 26.3 °C tz2 = 29.22 °C tz1 = 14.87 °C ta = 14 °C

Radiation p1 - a: EN 6946, hs = 4.641 W/m2K

Radiation abs - p2: hs = 0.296 W/m2K, F' = 0.925, FR = 0.899

Radiation abs - z2: hs = 2.117 W/m2K

Radiation z1 - a: hs = 2.398 W/m2K

Convection p1 - a: McAdams, hp = 10.30 W/m2K, for all w

Convection abs - p2: Niemann, hp = 2.850 W/m2K, for slope 45°

Convection abs - z2: Niemann, hp = 1.652 W/m2K, for any slope

Convection z1 - a: McAdams, hp = 10.30 W/m2K

tabs = 31.89 °C tm = 22.64 °C

p1 p2 tin = 19 °C z1 z2 tstg = ?? °C

Forced convection in pipes: Laminar (Shah), Turbulent (Colburn), hi (Laminar) = 354 W/m2K

Iteration: Number of loops = 10

Calculation: ☒ For given tin, ☐ Efficiency curve calculation

Calculate

VZTech

D:\Vysoká\Diplomka\KOLEKTOR\balance roční\teorie Květen 30/12/2013 12:55:30

Obr. 64.: Calculation – for given t_{in}

Dané výpočty odpovídají klimatickým podmínkám 21. května 2012. Z výpočtu pro jeden pracovní bod vychází teplota teplonosné kapaliny na výstupu z kolektoru 17,1 °C. V porovnání s teoreticky vypočtenou hodnotou (ohřev při jednom průtoku teplonosné látky o 7,6 °C) je tato hodnota menší o 0,5 °C.

Oproti tomu součinitel přestupu tepla konvekcí v závislosti na rychlosti větru (dle přístupu McAdamse) vychází větší 10,3 W/(m²·K) než v teoretickém výpočtu 6,25 W/(m²·K).

14.5 Simulace energetických toků v průběhu roku

V průběhu roku se rozměry a nadefinované vlastnosti kolektoru měnit nebudou. Co však především ovlivňuje jeho účinnost a využitelné tepelné zisky je intenzita solárního záření, teplota okolí, povětrnostní podmínky a teplota teplotnosné kapaliny.

Pro výpočet energetických toků jsem zadala do programu jako vstupní energii střední intenzitu slunečního záření pro jednotlivé vybrané dny v měsíci, průměrnou teplotu okolí, průměrnou vlhkost a rychlost větru v příslušné dny.

Měsíc		Teplota teplotnosné kapaliny	Střední intenzita záření $I_{stř}$		Venkovní teplota	Vlhkost	Rychlost větru
		t_{in}	teoretická	2012	t_e	φ	w
		[°C]	[W/(m ² ·K)]		[°C]	[%]	[m/s]
21.1	leden	14	296.65	221.95	5.47	88	0.28
20.2	únor	14	403.77	191.54	1.11	81	1.11
21.3	březen	14	499.23	265.49	8.75	78	0.28
21.4	duben	19	544.87	762.51	8.55	88	0.56
22.5	květen	19	543.20	387.80	14.08	84	1.39
22.6	červen	19	537.80	460.11	14.99	79	2.22
23.7	červenec	19	524.31	365.11	17.27	71	0.56
23.8	srpen	19	506.46	387.39	18.77	79	0.56
23.9	září	19	464.46	429.28	14.92	84	0
23.10.	říjen	14	375.84	230.94	11.23	88	0.28
22.11	listopad	14	278.34	73.31	7.35	88	1.11
22.12	prosinec	14	234.49	61.92	5.52	96	0

Tabulka 23.: Vstupní údaje pro program Kolektor

Teplota teplotnosné kapaliny se mění v závislosti na teplotě v akumulčním zásobníku. Je-li zásobník dokonale vychlazen, vstupní teplota se bude rovnat teplotě studené vody přicházející z vodovodního řádu. Pokud však bude zásobník nahříván pomocí solárních kolektorů, bude se i teplota teplotnosné kapaliny postupně navyšovat. Důvodem je různá uvažovaná teplota studené vody vlivem ročního období (v zimě 10° a v létě 15°), ale především přenos energie přes výměník tepla v nádrži není stoprocentní. Rozdíl teplot se může pohybovat v rozmezí 3 – 7 °C.

$$\min t_{zima} = 10 \text{ [°C]} \dots \text{leden - březen}$$

$$\min t_{léto} = 15 \text{ [°C]} \dots \text{duben - září}$$

$$\min t_{zima} = 10 \text{ [°C]} \dots \text{říjen - prosinec}$$

Pro výpočet v programu Kolektor jsem uvažovala rozdíl teplot: $\Delta t = 4$

T_m střední teplota teplotnosné látky

T_a teplota okolí

T_{in} teplotnosná látka na vstupu

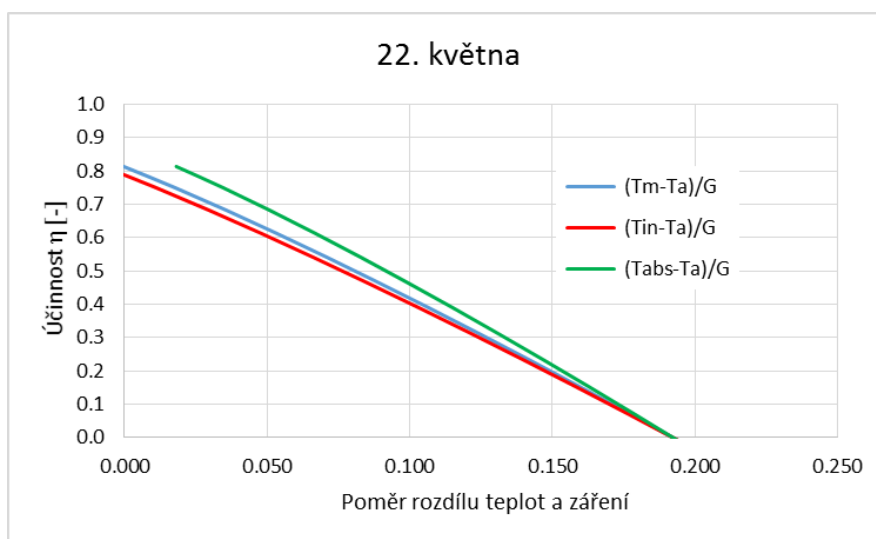
T_{abs} teplota absorbéru

Výstup z programu např. v měsíci květen pro střední intenzitu slunečního záření získanou teoretickým přístupem je následující:

Teoretická střední intenzita				
T_{in}	$(T_m - T_a)/G$	$(T_{in} - T_a)/G$	$(T_{abs} - T_a)/G$	Účinnost
10	0.000	-0.008	0.018	0.814
20	0.018	0.011	0.034	0.751
30	0.035	0.029	0.051	0.684
40	0.053	0.048	0.067	0.614
50	0.071	0.066	0.083	0.541
60	0.089	0.085	0.099	0.467
70	0.106	0.103	0.115	0.391
80	0.124	0.121	0.131	0.313
90	0.142	0.140	0.147	0.233
100	0.160	0.158	0.163	0.153
110	0.177	0.177	0.179	0.071
120	0.195	0.195	0.195	-0.013
130	0.213	0.213	0.211	-0.097
140	0.230	0.232	0.226	-0.183
150	0.248	0.250	0.242	-0.269
160	0.266	0.269	0.258	-0.357
170	0.283	0.287	0.274	-0.446
180	0.301	0.305	0.290	-0.536
190	0.318	0.324	0.306	-0.627
200	0.336	0.342	0.321	-0.720

Tabulka 24.: Teoretická účinnost kolektoru v měsíci květen

Pro modelování a podrobné analýzy je nejlepší vyjádření účinnosti kolektoru v závislosti na vstupní teplotě (redukovaný teplotní rozdíl $(T_{in} - T_a)/G$). Vyjádření v závislosti na teplotě absorberu T_{abs} nemá v praxi využití.



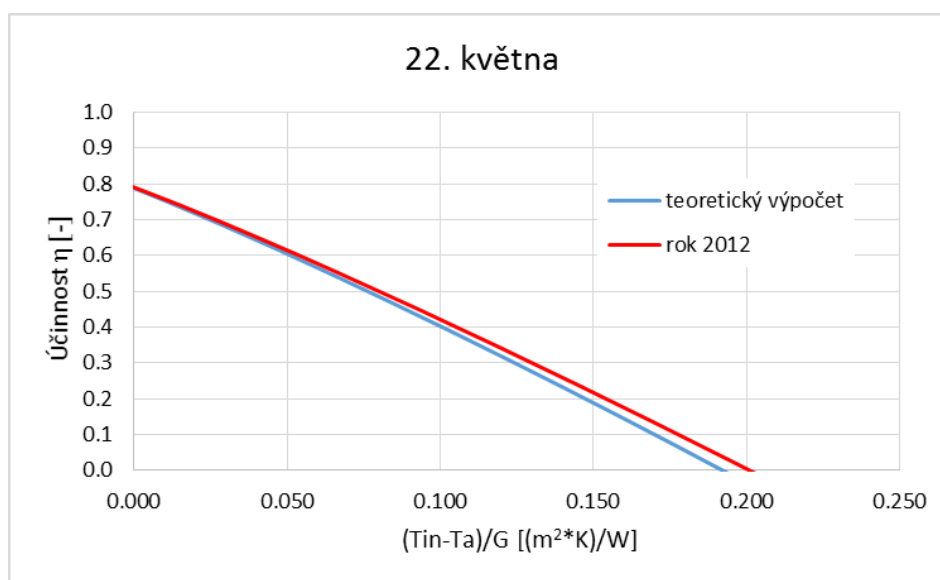
Graf 25.: Účinnost v závislosti na zvoleném poměru teplot a záření

Pro střední intenzitu slunečního záření získanou ze skutečných hodnot slunečního záření v roce 2012 je výstup z programu např. v měsíci květen následující:

Střední intenzita rok 2012				
T_{in}	$(T_m - T_a)/G$	$(T_{in} - T_a)/G$	$(T_{abs} - T_a)/G$	Účinnost
10	-0.003	-0.011	0.016	0.825
20	0.022	0.015	0.038	0.740
30	0.047	0.041	0.061	0.648
40	0.072	0.067	0.084	0.551
50	0.097	0.093	0.107	0.450
60	0.122	0.119	0.129	0.347
70	0.147	0.144	0.152	0.241
80	0.171	0.170	0.174	0.132
90	0.196	0.196	0.197	0.021
100	0.221	0.222	0.219	-0.091
110	0.246	0.248	0.242	-0.206
120	0.271	0.274	0.264	-0.322
130	0.296	0.299	0.286	-0.440
140	0.320	0.325	0.309	-0.560
150	0.345	0.351	0.331	-0.681
160	0.370	0.377	0.353	-0.804
170	0.395	0.403	0.376	-0.928
180	0.419	0.429	0.398	-1.054
190	0.444	0.454	0.420	-1.181
200	0.469	0.480	0.442	-1.310

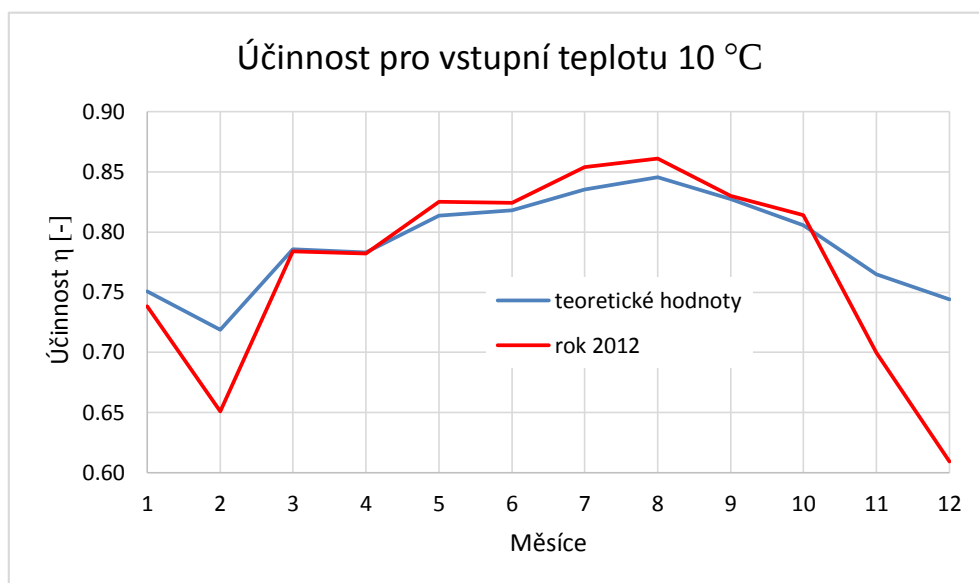
Tabulka 25.: Účinnost kolektoru v měsíci květen 2012

Porovnání účinnosti v závislosti na střední teplotě z hodnot teoretických a skutečných:



Graf 26.: Účinnost kolektoru v měsíci květen

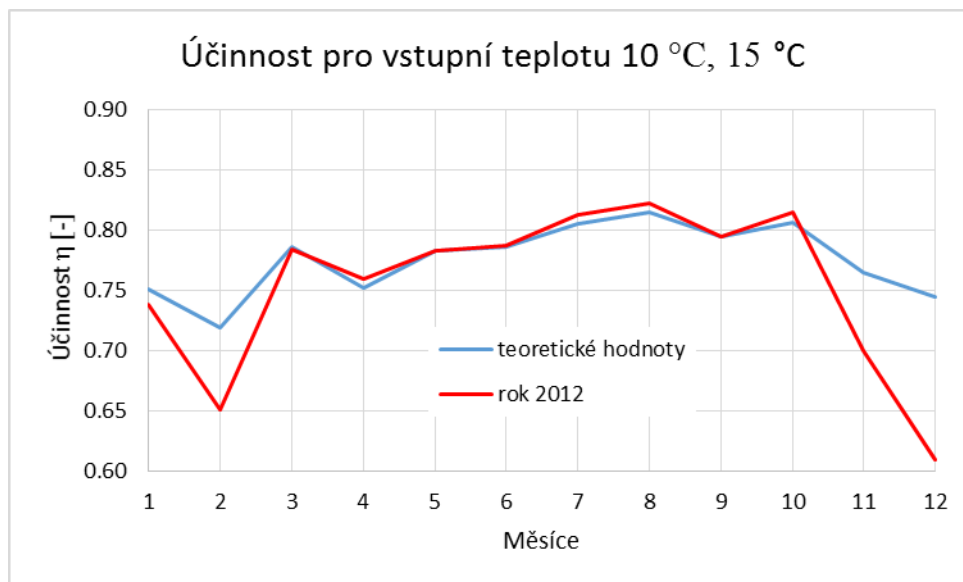
Z průběhu křivky účinnosti pro jednotlivé měsíce můžeme stanovit křivku účinnosti pro celý rok pro konkrétní vstupní teplotu. V případě 100% přenosu tepla ve výměníku a vstupní teploty teplotnosné kapaliny vždy pouze 10 °C, křivka by měla následující tvar:



Graf 27.: Křivka účinnosti pro 10 °C

V měsíci srpen by kolektor dosahoval nereálných hodnot účinnosti 85 %.

Pokud bychom uvažovali vstupní teplotu o hodnotách, které se využívají v teoretických výpočtech, pro léto 15 °C, účinnost v létě by se snížila na 82 %:



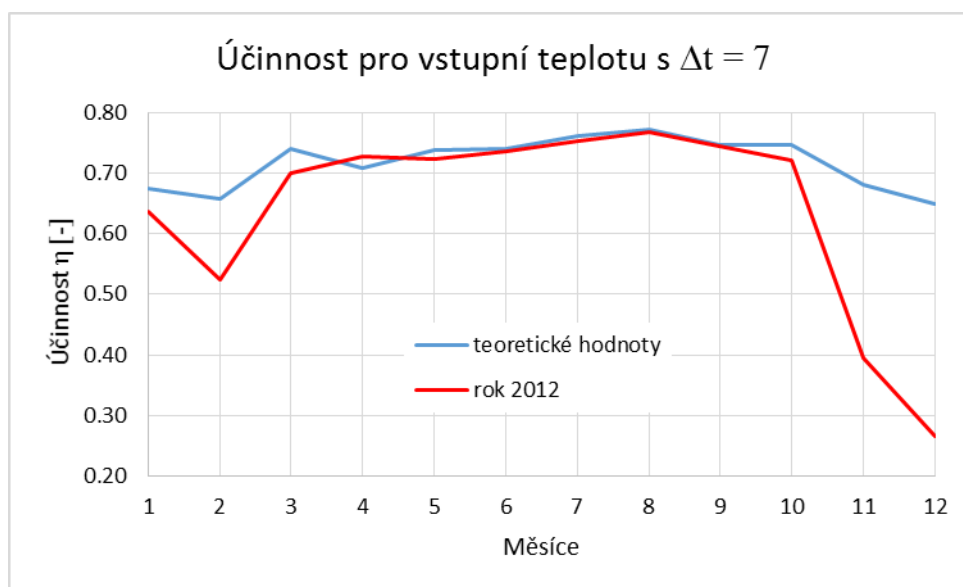
Graf 28.: Křivka účinnosti pro 10 °C v zimě, 15 °C v létě

S vyšší vstupní teplotou teplotnosné kapaliny do kolektoru se snižuje účinnost kolektoru.

Pokud bychom tedy počítali s nižší účinností přenosu energie ve výměníku a s vyšší teplotou vstupní kapaliny (o 7 °C), účinnost v průběhu roku získaná programem Kolektor by vycházela dle následujícího:

Účinnost při $\Delta t = 7$			
měsíc	vstupní teplota	teoretické hodnoty	rok 2012
leden	17	0.674	0.637
únor	17	0.657	0.525
březen	17	0.739	0.700
duben	22	0.708	0.728
květen	22	0.738	0.723
červen	22	0.740	0.735
červenec	22	0.762	0.754
srpen	22	0.771	0.768
září	22	0.747	0.744
říjen	17	0.746	0.721
listopad	17	0.680	0.395
prosinec	17	0.650	0.266

Tabulka 26.: Účinnost při změně vstupní teploty



Graf 29.: Účinnost pro vstupní teploty s $\Delta t = 7$

Z grafu 29. lze pozorovat rozdíly mezi křivkou účinnosti zjištěnou na základě střední intenzity z teoretického výpočtu a na základě střední intenzity vypočtené z klimatických dat roku 2012. Největší rozdíly jsou v zimním období (únor a prosinec). V měsíci prosinec roku 2012 by se účinnosti kolektoru, vlivem vyšší vstupní teploty a nízké teplotě okolního vzduchu, výrazně snížila. Z původních 60 % na pouhých 26 %. Pro hodnoty střední intenzity získané teoretickým výpočtem, křivka účinnosti by tolik nepoklesla. Ze 74 % na hodnotu 65 %.

Tyto rozdíly vyplývají z nepředvídatelného průběhu počasí během roku. Proto doporučuji vždy pro návrh využívat průměrná dlouhodobá klimatická data dané lokality, které zohledňují i výkyvy počasí od normálu.

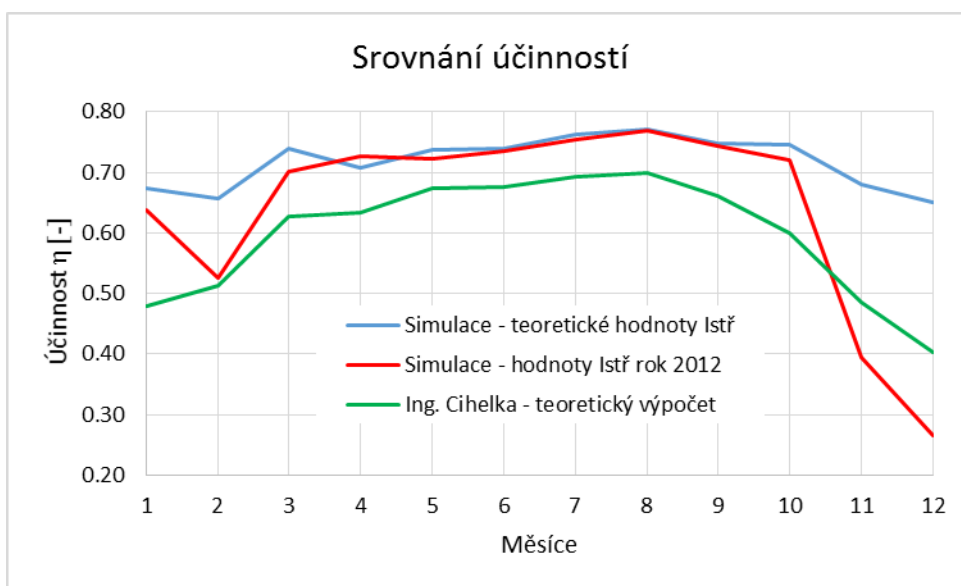
15 HODNOCENÍ

K využití výpočetní techniky je nutná především znalost daného problému a také znalost v ovládání těchto simulačních programů. Obě tyto vědomosti vyžadují nemalý čas strávený studováním příslušné problematiky.

K prvotnímu návrhu solárního systému lze přistupovat teoreticky, ale k vypočteným dosahovaným výnosům solárních zisků bych se příliš nepřikláněla. Jak jsem již dříve uvedla, takto získaná data nemůžeme považovat za přesné. Průměrná klimatická data nám zaručí přesnější výsledky.

Srovnáním výsledných účinností ze simulačního programu a z teoretického přístupu Dr. Cihelky, nám však vychází překvapivě značný rozdíl. Důvodů může být několik.

V teoretickém výpočtu vycházíme z vlastností kolektoru (optická účinnost, lineární a kvadratický součinitel tepelných ztrát), které nám poskytl dodavatel. Tyto hodnoty pak ve výsledku nemusí odpovídat zadaným hodnotám do simulačního kolektoru.



Graf 30.: Srovnání účinností z jednotlivých přístupů k výpočtu

Liší se také účinnost získaná teoretickým výpočtem a účinnost získaná simulací vycházející také z teoretických hodnot $I_{stř}$. Důvodem může být:

- Uvažovaná příliš vysoká střední teplota teplotnosné látky (průměr teplot teplotnosné látky na vstupu a na výstupu z kolektoru) v teoretickém výpočtu.
- Chyba se vyskytla při uvažovaném malého navýšení vstupní teploty do kolektoru vlivem nedokonalého přenosu energie v akumulární nádrži (v důsledku aktuální spotřeby teplé vody).

Pokud bychom tedy při návrhu vycházeli z výsledků účinnosti ze simulačního programu, která je vyšší, navýšila by se nám i využitelná solární energie. Následně bychom mohli uvažovat vyšší úsporu energie a tedy rychlejší návratnost celého systému. Ovšem současný návrh solárního systému pro RD, kde vycházím z teoretického výpočtu, shledávám vhodnější. Účinnost kolektoru je celkově nižší, ale systém je navržen na stranu bezpečnou.

ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je návrh využití solární energie pro zadaný rodinný dům v podobě solárních kolektorů a především srovnání jejich účinnosti v průběhu roku na základě různých přístupů k výpočtu. Projekt byl rozdělen do tří částí:

- A) Analýza tématu, cíle a metody řešení. Zaměřila jsem se na způsoby využití solární energie, technická řešení v praxi a možnosti využití simulačních softwarů při návrhu.
- B) Aplikace tématu na zadané budově. Po analýze klimatických dat, budovy (zpracování průkazu energetické náročnosti) a profilu užívání, jsem navrhla technické řešení systému s využitím současného zdroje tepla. Dále jsem provedla ekonomické zhodnocení návrhu ve srovnání se zpracovanými klimatickými daty z roku 2012.
- C) Počítačové simulace. Zde se zabývám teoretickým řešením pomocí simulačního programu ESP-r a KOLEKTOR. A hodnotím jednotlivé dosažené výsledky účinnosti kolektoru vzhledem ke změně vstupních parametrů, tzn. intenzity slunečního záření a teploty teplotnosné kapaliny na vstupu do kolektoru.

V závěru bych tedy uvedla, že ani jeden z uvedených přístupů pro návrh solárního systému není podle mého názoru zcela vhodný:

- a) Teoretický přístup Dr. Cihelky – teoretické intenzity slunečního záření jsou pro jednotlivé měsíce nadhodnocené (ve srovnání s rokem 2012).
- b) Klimatická data pouze roku 2012 – data nejsou všeobecně vypovídající o počasí v této lokalitě a nemůžeme předpokládat, že v následujících letech bude počasí zcela stejné.
- c) Simulační program Kolektor – účinnost kolektoru vypočítána během roku na základě teoretické intenzity záření.
- d) Simulační program Kolektor – účinnost na základě klimatických dat roku 2012.

V každém přístupu výpočtu účinnosti kolektoru se projevují jejich klady i jejich nedostatky. Vhodná by tedy byla jejich kombinace. Především bych doporučovala využívat průměrné hodnoty klimatických dat za dlouholeté období (sluneční záření, venkovní teploty, rychlosti větru a vlhkosti). A na základě těchto hodnot a specifických vlastností daného kolektoru vypočítat v simulačním programu Kolektor účinnost kolektoru.

Následně pak dle přístupu Dr. Cihelky navrhnout potřebnou plochu absorberu, počet kolektorů a zapojení solárního systému. Teprve poté by byl celý návrh spolehlivý (využitelnost, návratnost...). To by však vyžadovalo daleko více času, a ten je pro projektanty velmi cenný.

Projekt byl řešen dle platných norem, zákonů a vyhlášek (platné v ČR) s ohledem na životní prostředí.

POUŽITÉ ZDROJE

Normy, zákony a vyhlášky

1. ČSN 06 0320: *Tepelná soustava v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*, září 2006
2. ČSN EN 15316-3-1: *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*, srpen 2010
3. ČSN EN 12 831: *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*, duben 2005
4. ČSN EN ISO 13 790: *Energetická náročnost budov - Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení*, listopad 2009
5. TNI 73 0302. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*, září 2009
6. VYHLÁŠKA Č.120/2011 SB. *Změna vyhlášky č 428/2001 Sb.* [online]. [cit. 2013-09-08]. URL: <<http://www.portalsvj.cz/legislativa/120-2011-sb-zmena-vyhlasiky-k-provedeni-zakona-o-vodovodech-a-kanalizacich>>

Knihy a akademické práce

7. CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1994. ISBN: 80-900759-5-9
8. CHYSKÝ, J. - Hemzal, K. a kol. *Větrání a klimatizace – Technický průvodce 31*. Praha: Bolit-B pres, 1993. ISBN: 80-901574-0-8
9. MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. Praha: GRADA, 2010. ISBN: 978-80-247-3503-0
10. MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy 1 – sešit projektanta*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. ISBN: 978-80-02-02186-5
11. MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: GRADA, 2013. ISBN: 978-80-247-3525-2
12. VALENTA, Vladimír a kolektiv. *Topenářská příručka 3*. Praha: Agentura ČSTZ, s.r.o., 2007. ISBN: 978-80-86028-13-2

Elektronické zdroje

13. BUDERUS. *Návod k instalaci a údržbě*. [online]. [cit. 2013-12-1]. URL: <http://www.buderus.cz/files/201203261215500.6720648908_01_SKN4.0_Montaz_na_plochou_str echu_CZ.pdf>.
14. CODEPRO. *Collector Design Program*. [online]. [cit. 2013-11-11]. URL: <http://sel.me.wisc.edu/codepro/new_codepro.html>
15. HOLIDAY CHECK. *Podnebí a klima* [online]. [cit. 2013-10-02]. URL: <<http://www.holidaycheck.cz/hi/4fffa508-0f8f-360a-8e88-ef094be7f742>>
16. HOŠEK, Zdeněk. *Představuje fotovoltaika při požáru vážné riziko pro hasiče?* [online]. [cit. 2013-07-30]. URL: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/10179-predstavuje-fotovoltaika-pri-pozaru-vazne-riziko-pro-hasice>>
17. MATUŠKA, Tomáš. *Design tool KOLEKTOR* [online]. [cit. 2013-10-02]. URL: <<http://users.fs.cvut.cz/~matustom/kolektor/>>.
18. METEOROLOGISCH INSTITUUT. *Maandoverzicht van het weer in Nederland (MOW)*. [online]. [cit. 2013-09-19]. URL: <<http://www.knmi.nl/klimatologie/mow/>>.
19. METEO. *Meteorologické záznamy – rok 2012*. [online]. [cit. 2013-09-19]. URL: <<http://www.meteo.jankovic.cz/zaznamy/rok-2012/>>.
20. NEN. *Bouw*. [online]. [cit. 2013-12-10]. URL: <<http://www.nen.nl/NEN-Shop/Vakgebieden/Bouw.htm>>.

21. POČINKOVÁ, Marcela. *Obnovitelné zdroje energie*. [cit. 2012]. Přednášky.
22. REGULUS. *Čerpadlová skupina S2 Solar*. [online]. [cit. 2013-12-06]. URL: <<http://www.regulus.cz/cz/cerpadlova-skupina-s2-solar3-3-4>>.
23. REINBERK, Zdeněk. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody*. [online]. [cit. 2013-03-04]. URL: <<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>>. Výpočtová pomůcka.
24. STANĚK, Kamil. *Přenos tepla*. [online]. [cit. 2013-12-15]. URL: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CEEQFjAD&url=http%3A%2F%2Fkps.fsv.cvut.cz%2Ffile_download.php%3Ffid%3D1431&ei=jo6tUp_1HebJ4ASBg4DACQ&usq=AFQjCNG7LKe9FP31u8cEOt9DG8P_Jglpcw&bvm=bv.57967247,d.bGE>
25. THE SOLAR DESIGN COMPANY. *Software for Solar Thermal Systems*. [online]. [cit. 2013 08 13]. URL: <<http://www.solardesign.co.uk/tsol.php>>.
26. TRNSYS. *Transient Systems Simulation Tool*. [online]. [cit. 2013 08 13]. URL: <<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>>.
27. UNIVERSITY OF STRATHCLYDE. *Energy systems research unit*. [cit. 2013-03-10]. Manuál k softwaru.
28. VAILLANT. *Installatiehandleiding Thermocompact 2000* [online]. [cit. 2012-12-01]. URL: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Ftera.umi.ru%2Ffilemanager%2Fdownload%2F536%2F&ei=QR0vUu-CC4iJ7AaKjYGwAQ&usq=AFQjCNFG_fWLdCzJWsj8YrdLLerfdrLUMQ&bvm=bv.51773540,d.ZGU>. Pokyny k instalaci kotle.
29. VELA SOLARIS. *Polysun Simulation Software*. [online]. [cit. 2013 08 13]. URL: <<http://www.velasolaris.com/english/home.html>>.
30. WEATHER UNDERGROUND. *Počasí Historie pro IZUIDHOL69*. [online]. [cit. 2012-02-16]. URL: <<http://www.wunderground.com/weatherstation/WXDailyHistory.asp?ID=IZUIDHOL69&graphspan=day&month=2&day=16&year=2012>>.
31. WIKIPEDIE. *Slunce* [online]. [cit. 2013-03-04]. URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>>.
32. WILO. *Wilo-Stratos ECO-STG*. [online]. [cit. 2013-12-06]. URL: <http://productfinder.wilo.com/cz/CZ/productrange/000000070003519100020023/fc_range_description#>>.

Obrazové zdroje

33. BEDNÁŘ, Jaromír. *Solární kolektor a jednotka ThermBoil FX*. [online]. [cit. 2013-08-02]. Obrázek. URL: <<http://jaromirbednar.wordpress.com/2012/02/22/solarni-kolektor-a-jednotka-thermboil-fx/#more-302>>
34. BUDERUS. *Solární technika*. [online]. [cit. 2013-11-25]. Obrázek. URL: <http://www.buderus.cz/files/201210020914360.Kapitola_10_2012.pdf>.
35. DEYL, Daniel. *Český národní elektrostát a malý fotovoltaický hlavolam*. [online]. [cit. 2013-04-04]. Obrázek. URL: <<http://vtm.e15.cz/aktuality/cesky-narodni-elektrostat-a-maly-fotovoltaicky-hlavolam>>.
36. ETU. *GetSolar*. [online]. [cit. 2013-08-13]. Obrázek. URL: <<http://www.etu.de/produkte/solar-photovoltaik/getsolar/>>
37. HOUŠKA, Petr. *Solární Trombeho stěna Vám pomůže vytápnout dům*. [online]. [cit. 2013-05-20]. Obrázek. URL: <<http://www.drevostavby.cz/cs/drevostavby-archiv/stavba/okna-dvere-vyplne/1967-trombeho-stena-jednoduche-vytapani-staveb>>

38. MATUŠKA, Tomáš. *Integrace solárních soustav do panelových budov*. [online].
[cit. 2013-08-01]. Obrázek. URL: <<http://www.tzb-info.cz/3966-integrace-solarnich-soustav-do-panelovych-budov>>
39. POČINKOVÁ, Marcela. *Dimenzování solárních systémů 2011*.
[cit. 2012-03-06]. Přednáška.
40. SHAMS POWER COMPANY. *Shams*. [online].
[cit. 2013-07-30]. Obrázek. URL: <<http://www.shamspower.ae/en/>>
41. SOLARENVI. *Solární systémy na ohřev vody a vytápění objektu*. [online].
[cit. 2013-04-04]. Obrázek. URL: <<http://www.solarenavi.cz/slunecni-kolektory/typy-instalaci/solarni-vytapeni-a-ohrev-vody/>>
42. ŠOUREK, Bořivoj. *Hydraulická zapojení*. [online].
[cit. 2013-07-30]. Obrázek. URL: <<http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/hydraulicka-zapojeni>>
43. ŠOUREK, Bořivoj. *Simulační prostředí TRNSYS*. [online].
[cit. 2013-08-13]. Obrázek. URL: <<http://www.tzb-info.cz/1956-simulacni-prostredi-trnsys>>
44. UNGEROVÁ, Martina. *Solární architektura* [online].
[cit. 2013-07-04]. Obrázek. URL: <<http://www.asb-portal.cz/architektura/stavby-a-budovy/nizkoenergeticke-domy/solarni-architektura-2438.html>>.
45. WEBFYZIKA. *Přenos tepla zářením*. [online].
[cit. 2013-11-10]. Obrázek. URL: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/prednasky/prenos_teplo.pdf>.
46. ZONNEPANEEL. *Het principe van zonne-energie*. [online].
[cit. 2013-07-04]. Obrázek. URL: <<http://www.zonnepaneel-info.nl/terugverdienen.php>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

RD – rodinný dům
ESP-r – Environmental systems performance for research
SV – studená voda
TV – teplá voda
VT – výměník tepla
HJ – hydraulická jednotka
ZZT – zpětné získávání tepla
MaR – měření a regulace
NP – nadzemní podlaží
EN – expanzní nádoba
UTC – Coordinated Universal Time
PENB – Průkaz energetické náročnosti budovy
VBA – Visual Basic Studio

Fyzikální veličiny

t – teplota [$^{\circ}\text{C}$]
S, A – plocha [m^2]
V – objem [m^3]
 Φ – tepelná ztráta [W]
v – rychlost [m/s]
 λ – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]
R – odpor při prostupu tepla [$(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$]
U – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]
Ostatní veličiny jsou vždy vysvětleny v průběhu textu

Indexy

e – exteriér
i – interiér
pdl – podlaha
m – průměrná hodnota
stř – střední hodnota
teor – teoretická hodnota
skut – skutečná hodnota
měs – měsíční hodnota
den – denní hodnota

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obr. 1.: Sokratův dům ^[44]	11
Obr. 2.: Trombeho stěna - léto ^[37]	12
Obr. 3.: Trombeho stěna - zima ^[37]	12
Obr. 4.: Fotovoltaické pole ^[35]	13
Obr. 5.: Umístění kolektorového pole ^[41]	14
Obr. 6.: Řez plochého kolektoru ^[33]	15
Obr. 7.: Shams 1 ^[40]	16
Obr. 8.: Zjednodušené schéma solární soustavy ^[11]	17
Obr. 9.: Výměník - a) vestavěný, b) externí ^[42]	18
Obr. 10.: Stratifikační zásobník a trojcestný ventil ^[42]	18
Obr. 11.: Zásobník teplé vody ^[42]	19
Obr. 12.: Kombinovaný zásobník a „nádrž v nádrži“ ^[42]	20
Obr. 13.: Vestavěný zdroj tepla ^[42]	20
Obr. 14.: Dodatečný zdroj tepla ^[42]	20
Obr. 15.: Plocha kolektoru ^[39]	22
Obr. 16.: Křivky účinnosti různých druhů kolektorů ^[11]	23
Obr. 17.: Příklad simulace v programu Polysun	28
Obr. 18.: Příklad simulace v programu T*SOL Basic	29
Obr. 19.: Příklad simulace v programu GetSolar ^[36]	30
Obr. 20.: Příklad simulace v programu TRNSYS	30
Obr. 21.: Příklad simulace v programu VYKON	31
Obr. 22.: Příklad simulace v programu BalanceSS	31
Obr. 23.: Rhooon, Nizozemsko	33
Obr. 24.: Rodinný dům	35
Obr. 25.: Kotelna	41
Obr. 26.: Ovládací panel kotle	41
Obr. 27.: Regulační šroub kotle ^[28]	42
Obr. 28.: Elektrický ohřívač	42
Obr. 29.: Teoretický výpočet množství tepla na vytápění a ohřev TV ^[23]	44
Obr. 30.: Prosklené plochy	45
Obr. 31.: Rozvody v RD	46
Obr. 32.: Globální záření v kWh/m ² ^[46] a v kJ/cm ² ^[18] roku 2012	48
Obr. 33.: Nejvhodnější sklon panelu ^[46]	50
Obr. 34.: Stínění kolektoru ^[13]	61
Obr. 35.: Odstup kolektorů ^[13]	61
Obr. 36.: Umístění kolektorů na plochou střechu	62
Obr. 37.: Navržené schéma zapojení	63
Obr. 38.: Rozdělení základního okruhu na úseky	64
Obr. 39.: Sluneční svit teoretický a skutečný pro jednotlivé dny měsíce Leden a Srpen ^[18]	79
Obr. 40.: Příklad výsledků simulace	86
Obr. 41.: Hlavní menu ESP-r	87
Obr. 42.: Databáze	89
Obr. 43.: Climate Analysis	90
Obr. 44.: Databáze materiálů	91
Obr. 45.: Profily	92
Obr. 46.: Simulate	94

Obr. 47.: Specifické komponenty	96
Obr. 48.: Spojení zařízení	97
Obr. 49.: Uzavření zařízení.....	97
Obr. 50.: Proudění vzduchu	98
Obr. 51.: Naplánování proudění vzduchu	98
Obr. 52.: Kontaminace.....	100
Obr. 53.: Controls	100
Obr. 54.: Vizualizace a Simulace.....	102
Obr. 55.: Výsledky a Zpráva.....	103
Obr. 56.: Klimatická data.....	104
Obr. 57.: Simulace kolektoru v programu ESP-r.....	104
Obr. 58.: Energetická bilance tepelných toků ^[45]	105
Obr. 59.: Základní roviny kolektoru ^[17]	112
Obr. 60.: Design parameters	113
Obr. 61.: Absorber	114
Obr. 62.: Glazing and insulation.....	115
Obr. 63.: Calculation - efficiency curve calculation.....	116
Obr. 64.: Calculation – for given t_{in}	117

Tabulky

Tabulka 1.: Množství tepla	47
Tabulka 2.: Energie ze slunečního záření	49
Tabulka 3.: Celková teoretická intenzita solárního záření pro měsíc leden ve městě Rhoo.....	52
Tabulka 4.: Výpočet energie dopadající na osluněnou plochu za měsíc pro teoretickou hodnotu střední intenzity slunečního záření	56
Tabulka 5.: Teplota v době slunečního svitu	57
Tabulka 6.: Účinnost kolektoru (sklon 37°).....	57
Tabulka 7.: Měrný tepelný tok pro vybraný den v měsíci	58
Tabulka 8.: Měsíční potřeba tepla.....	59
Tabulka 9.: Tepelný zisk solární soustavy.....	60
Tabulka 10.: Odstup kolektorů	62
Tabulka 11.: Dimenze a tlakové ztráty	65
Tabulka 12.: Celková skutečná intenzita na horizontální plochu Leden	75
Tabulka 13.: Přepočtní funkce Leden	76
Tabulka 14.: Intenzita skutečného slunečního záření pro sklon kolektoru 0° a 37° květen.....	77
Tabulka 15.: Střední intenzita záření a energie dopadající na osluněnou plochu za měsíc	80
Tabulka 16.:Orientační cena solární sestavy	82
Tabulka 17.: Množství tepla z 1 m ³	83
Tabulka 18.: Návratnost při teoretickém výpočtu.....	83
Tabulka 19.: Návratnost pro rok 2012	83
Tabulka 20.: Průměrná intenzita větru za den [m/s] (rok 2012).....	108
Tabulka 21.: Převažující směr větru v průběhu dne (rok 2012)	109
Tabulka 22.: Součinitel přestupu tepla v závislosti na rychlosti větru [W/(m ² ·K)].....	111
Tabulka 23.: Vstupní údaje pro program Kolektor	118
Tabulka 24.: Teoretická účinnost kolektoru v měsíci květen	119
Tabulka 25.: Účinnost kolektoru v měsíci květen 2012	120
Tabulka 26.: Účinnost při změně vstupní teploty	122

Grafy

Graf 1.: Profily teoreticky dopadlé sluneční energie na různě skloněné plochy v ČR [38]	24
Graf 2.: Příklad energetické bilance [21]	26
Graf 3.: Příklad závislosti solárního pokrytí a využitelných zisků na poměru instalované plochy [11]	27
Graf 4.: Průměrná měsíční venkovní teplota pro rok 2012 [30], [19]	33
Graf 5.: Celková sluneční radiace na horizontální rovinu v červenci 2012 [19], [30]	34
Graf 6.: Průměrný počet deštivých dnů a slunečního svitu za den Rotterdam [15]	34
Graf 7.: Křivka spotřeby TV	40
Graf 8.: Křivka dodávky a odběru tepla	43
Graf 9.: Průměrná energie dopadající za měsíc při úhlu sklonu osluněné plochy 0° [7] [18]	49
Graf 10.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 0°	53
Graf 11.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 90°	53
Graf 12.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 45°	54
Graf 13.: Intenzita celkového slunečního záření při sklonu kolektoru 37°	54
Graf 14.: Teoretická střední intenzita slunečního záření pro Holandsko a ČR [7]	55
Graf 15.: Teoretická účinnost kolektoru při sklonu 37°	58
Graf 16.: Měsíční potřeba tepla na přípravu TV	59
Graf 17.: Teoretický solární zisk při sklonu kolektoru 37°	60
Graf 18.: Porovnání teoretické a reálné intenzity slunečního záření	70
Graf 19.: Průběhy intenzity kolmo k paprskům pro vybraný den v měsíci	74
Graf 20.: Přepočtení funkce v průběhu dne	77
Graf 21.: Intenzita skutečného slunečního záření pro sklon kolektoru 0° a 37° květen	78
Graf 22.: Intenzita skutečného slunečního záření pro sklon kolektoru 0° a 37° srpen	78
Graf 23.: Porovnání středních intenzit slunečního záření	81
Graf 24.: Porovnání množství energie	81
Graf 25.: Účinnost v závislosti na zvoleném poměru teplot a záření	119
Graf 26.: Účinnost kolektoru v měsíci květen	120
Graf 27.: Křivka účinnosti pro 10°C	121
Graf 28.: Křivka účinnosti pro 10°C v zimě, 15°C v létě	121
Graf 29.: Účinnost pro vstupní teploty s $\Delta t = 7$	122
Graf 30.: Srovnání účinností z jednotlivých přístupů k výpočtu	123

SEZNAM VÝKRESŮ

- V. 1 Půdorys 1.NP
- V. 2 Půdorys 2.NP
- V. 3 Pohledy
- V. 4 Schéma zapojení kolektoru – TV
- V. 5 Schéma zapojení kolektoru – TV, OV
- V. 6 Rozmístění kolektorů

SEZNAM PŘÍLOH

- A. 1 Energetický štítek obálky budovy
- A. 2 Energetický průkaz náročnosti budovy
- A. 3 Specifikace kotle
- A. 4 Faktura za plyn a elektřinu
- A. 5 Čidlo teploty
- A. 6 Kolektor
- A. 7 Akumulační zásobník
- A. 8 Oběhové čerpadlo
- A. 9 Expanzní nádoba

PŘÍLOHY