

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2016

Bc. Filip Doskočil



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PROVOZU SOLÁRNÍHO SYSTÉMU URČENÉHO K OHŘEVU TUV ŠKOLNÍ JÍDELNY

OPTIMIZATION OF THE SOLAR SYSTEM DESIGNED FOR DHW SCHOOL CANTEENS HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Doskočil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

BRNO 2016

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Filip Doskočil

ID: 23565

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace provozu solárního systému určeného k ohřevu TUV školní jídelny

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou solárně tepelných systémů určených k ohřevu TUV v rámci reálného provozu školní jídelny. Zaměřte se na monitoring a vzdálenou správu takového systému. Navrhněte postup optimálního řízení používaného v této oblasti. Proveďte též ekonomickou a ekologickou analýzu tohoto solárního systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 21.8.2016

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D., *předseda oborové rady*

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI, díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje využití sluneční energie pro solárně tepelné systémy používané pro ohřev teplé užitkové vody TUV. Pojednává o velikosti dopadajícího slunečního záření na Zemi. Rozděluje jednotlivé typy solárních kolektorů pro ohřev TUV. Zabývá se monitoringem, vzdálenou správou takového systému a návrhem optimálního řízení používaného v této oblasti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fuzzy, Ohřev TUV, Optimalizace, Solární systémy, Solární panely, Sluneční kolektory, Sluneční energie

ABSTRACT

Masters's thesis describes the use of solar energy for solar thermal systems used for domestic hot water heating. It is about the size of the incident solar radiation on Earth. Distributes various types of solar collectors for water heating. It deals with the monitoring, remote management of this system and the design of optimal control used in this area.

KEYWORDS

Fuzzy, Water heating, Optimisation, Solar systems, Solar panels, Solar collectors, Solar energy

DOSKOČIL, F. Optimalizace provozu solárního systému určeného k ohřevu TUV školní jídelny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 61 s., 8 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Optimalizace provozu solárního systému určeného k ohřevu TUV školní jídelny jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a technického konzultanta a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 21. 8. 2016

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Bačovi, Ph.D. a technickému konzultantovi Ing. Josefu Spěvákovi, Ph.D. za odbornou, metodickou pomoc i za další cenné rady při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji Bc. Lukáši Kraicingerovi za jeho pomoc zejména při programování jednočipových mikropočítačů.

V Brně dne 21. 8. 2016

.....
(podpis autora)

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ:.....	9
ÚVOD.....	10
1 Solární fototermické systémy	11
1.1 Využití sluneční energie.....	11
1.2 Solární energie	11
1.3 Nabídka záření ze Slunce	13
1.4 Orientace solárních kolektorů ke Slunci	15
2 Technické využití solární energie	16
2.1 Solární kolektory	16
2.2 Sestava zařízení se solárními kolektory	17
2.3 Možnosti použití.....	18
2.4 Ohřev vody v bazénech	18
2.5 Solární ohřev TUV	19
2.6 Částečné solární vytápění.....	20
2.7 Funkce a konstrukce solárního kolektoru	20
2.8 Tepelné ztráty solárních kolektorů.....	21
2.9 Účinnost kolektorů	23
2.10 Křivky účinnosti kolektorů	24
2.11 Tepelné výměníky	25
2.12 Tepelné zisky kolektorů	25
2.13 Materiálové vlastnosti stavby kolektorů	27
2.14 Fasádní kolektory	29
2.15 Řazení a propojení kolektorů	29
2.16 Konstrukce vodních zásobníků	31
2.17 Teplonosná média	32
2.18 Způsoby provozu solárních soustav	32
2.19 Regulace a další komponenty solárních systémů.....	32
3 Popis stavu systému před optimalizací	34
3.1 Solární systém na SPŠ Edvarda Beneše a OA Břeclav	34
3.2 Stav řízení a regulace před optimalizací	35
4 Návrh vlastního řešení	39
5 Fuzzy logika.....	39
6 Implementace fuzzy řízení pro Arduino Mega	41

7	Simulace fototermitických procesů.....	43
7.1	Dostupný simulační software.....	43
7.2	Výsledky simulace pomocí software Polysun.....	43
8	Prediktivní regulace	45
9	Ekonomická analýza solárního systému	47
9.1	Způsob financování	47
9.2	Ekonomická efektivnost investic	47
9.3	Zadávací studie a simulace.....	48
9.4	Grafická vyjádření vyrobené a odebrané energie.....	49
9.5	Vyhodnocení ekonomické analýzy	52
10	Ekologická analýza solárního systému	53
10.1	Životnost solárních kolektorů	53
10.2	Recyklace materiálů používaných na výrobu kolektorů	53
10.3	Analýza kolektoru Ekostart DOMA.....	53
10.4	Legislativní podpora.....	54
11	Vyhodnocení naměřených dat	56
12	Závěr	57
	Zdroje informací	58
	SEZNAM VELIČIN, SYMBOLŮ A ZKRATEK	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1:	Energie obsažená ve slunečním záření [6].	10
Obr. 1.1:	Rozdělení využití sluneční energie [7].	11
Obr. 1.2:	Rozdělení slunečního záření [8].	12
Obr. 1.3:	Délka slunečního svitu za rok v ČR [1].	13
Obr. 1.4:	Globální horizontální záření v Evropě [2].	14
Obr. 1.5:	Globální horizontální záření v ČR [2].	14
Obr. 1.6:	Vliv sklonu kolektoru na solární zisk [7].	15
Obr. 1.7:	Diagram vlivu orientace panelu na solární zisk [3].	16
Obr. 2.1:	Rozdělení solárních kolektorů [5].	16
Obr. 2.2:	Schéma solárního systému [7].	17
Obr. 2.3:	Schéma ohřevu bazénové vody [7].	18
Obr. 2.4:	Schéma solárního systému pro ohřev TUV [11].	19
Obr. 2.5:	Složení plochého solárního kolektoru [7].	20
Obr. 2.6:	Tepelné pochody v solárním kolektoru [7].	21
Obr. 2.7:	Tepelné ztráty v solárním kolektoru [7].	22
Obr. 2.8:	Křivky účinnosti kolektoru [4].	24
Obr. 2.9:	Materiály a konstrukční formy absorbérů [4].	27
Obr. 2.10:	Typy řazení solárních kolektorů [7].	30
Obr. 2.11:	Příklad ocelového stratifikačního zásobníku [7].	31
Obr. 2.12:	Regulace solárního systému [7].	33
Obr. 3.1:	Schéma solárního systému SPŠ Břeclav [10].	36
Obr. 3.2:	Webové rozhraní monitoringu [10].	37
Obr. 3.3:	Orientace solárních kolektorů na budově [fotografie autor].	37
Obr. 3.4:	Solární zásobník 1000 l [fotografie autor].	38
Obr. 3.5:	Pohled na výměníky a další infrastrukturu [fotografie autor].	38
Obr. 5.1:	Využití fuzzy logiky při ohřevu vody [14].	40
Obr. 8.1:	Princip prediktivní regulace [28].	45
Obr. I.I:	Současné webové rozhraní monitoringu [10].	62
Obr. I.II:	Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 1 [10].	63
Obr. I.III:	Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 2 [10].	64
Obr. II.I:	Historická data z přípravné studie 1 [25].	65
Obr. II.II:	Historická data z přípravné studie 2 [25].	66
Obr. II.III:	Historická data z přípravné studie 3 [25].	67
Obr. III.I:	Aktuální simulace 1 [Polysun].	68
Obr. III.II:	Aktuální simulace 2 [Polysun].	69

ÚVOD

Slunce je hlavním zdrojem energie na planetě Zemi. Díky Slunci je na naší planetě život takový, jaký ho známe. Pokud budeme využívat sluneční energii jako zdroj obnovitelné energie, která je podle lidských měřítek neomezená, můžeme se vyhnout nadcházejícím energetickým krizím vyplývajícím z omezeného množství fosilních paliv na planetě.

Energie slunečního záření každoročně dopadajícího na Zemi činí nepředstavitelných $1,5 \cdot 10^{18}$ kWh/rok. To je více než desettisíckrát více, než lidstvo v současné době spotřebuje. V našich klimatických podmínkách je celková doba slunečního svitu bez oblačnosti od 1 400 do 1700 hodin ročně. Teoreticky bychom tak mohli z každého metru čtverečního území čerpat okolo 1000 kWh energie ročně. Na celou Českou republiku ročně dopadá okolo 80 000 TWh energie ze Slunce [6].

Optimalizace je proces výběru nejlepší varianty z množství možných jevů [15]. Při optimalizaci měníme tzv. stavové proměnné optimalizovaného objektu a sledujeme, jaký vliv má změna těchto proměnných na výsledné parametry. Optimalizací tedy rozumíme hledání takových hodnot stavových proměnných systému, které zajistí, že systém bude dosahovat požadovaných parametrů nebo že se parametry systému budou co možná nejvíce blížit parametrům žadaným [16].



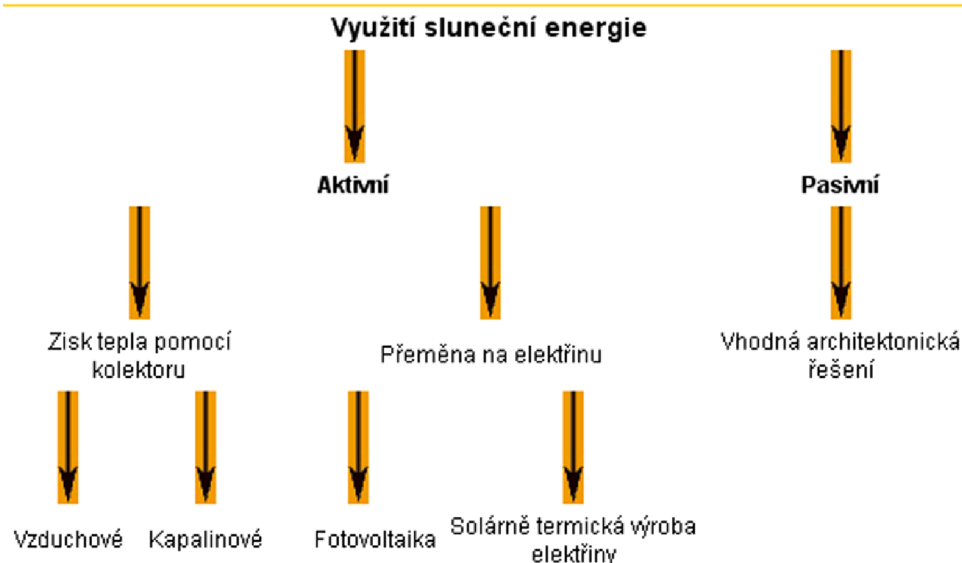
Obr. 1: Energie obsažená ve slunečním záření [6].

1 Solární fototermické systémy

1.1 Využití sluneční energie

Způsoby, jakými lze využívat sluneční energii, dělíme na aktivní a pasivní. Pasivně lze dopadající sluneční záření získávat vhodným architektonickým řešením budov, kdy se samotná budova stane solárním kolektorem. Aktivně lze využívat sluneční energii pomocí solárních kolektorů, které z hlediska teplotního média dělíme na vzduchové nebo kapalinové. Jinou aktivní možností je výroba elektřiny cestou fotovoltaiky nebo v solárně tepelných zařízeních [5].

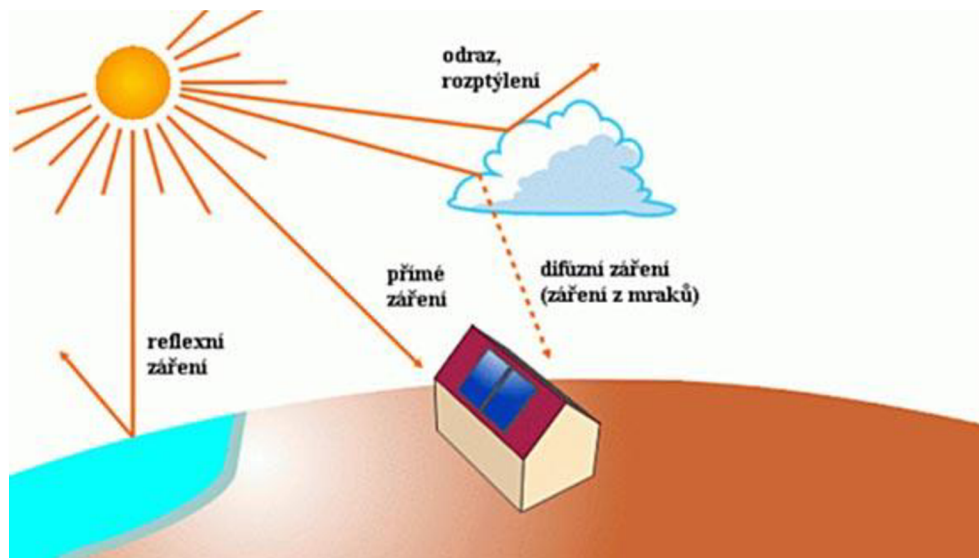
Využití sluneční energie - rozdělení



Obr. 1.1: Rozdělení využití sluneční energie [7]

1.2 Solární energie

Při průchodu slunečního záření zemskou atmosférou probíhá řada komplexních dějů. Části záření jsou absorbovány (hlavně ozónem a CO_2), rozptylovány (na molekulách a aerosolech), odráženy (na vodních parách – mraky a reflexe z půdy, především ze sněhové pokrývky) a emitovány [9].



Obr. 1.2: Rozdělení slunečního záření [8]

Hnací silou pro téměř všechny energeticky podmíněné děje v našem životním prostředí je sluneční záření. Jde například o následující děje:

- pohyb vzduchu na základě rozdílných teplot a tlaků (větrná energie)
- pohyby moří (vlny a mořské proudy)
- oteplování povrchu Země a atmosféry (využití tepla např. tepelnými čerpadly)
- růst vegetace (fotosyntéza, biomasa)

Při jasné, bezmračné obloze dopadá největší část záření na Zemi, aniž by měnilo směr. Toto přímé záření lze soustřeďovat (koncentrovat) např. zrcadly nebo čočkami. Rozptylem přímého záření v mracích a na částicích v atmosféře dochází k difuznímu záření (tzv. záření oblohy), které na Zemi přichází ze všech směrů. Difuzní záření nelze koncentrovat. Souhrn přímého a difuzního záření se označuje jako globální záření. Zatímco difuzní záření tvoří v létě asi 50 % záření globálního (v měsíčním průměru), je jeho podíl v zimě díky oblačnému počasí vyšší. V celoročním průměru obnáší asi 50-60 % [18]. Proto se musí použít technologie, které dobře využívají i difuzního záření [4].

Intenzita záření (poledne):

- zamračeno 40 - 200 W/m²
- jasno 600 – 1000 W/m²

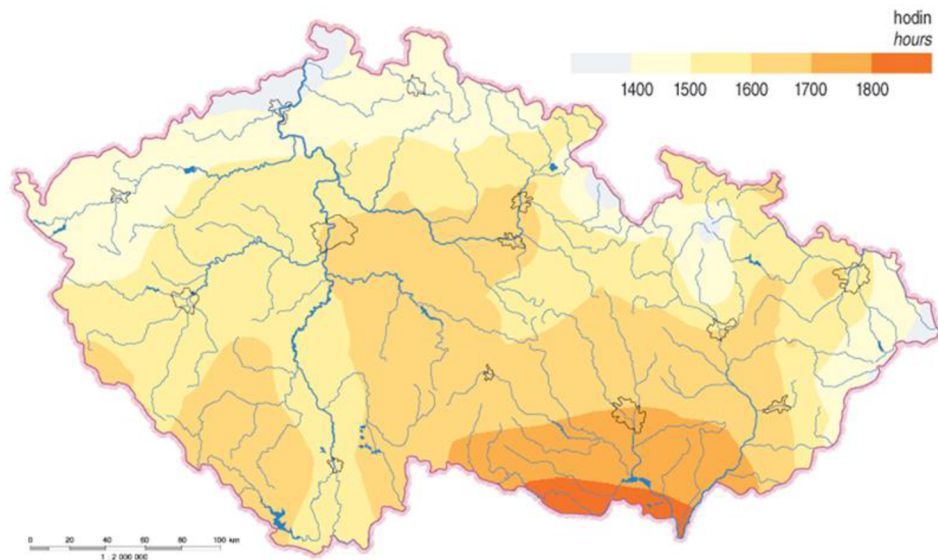
Základní příčinou problému v technickém využívání solární energie je značně kolísající množství solárního záření. Pokud mají solární energetické systémy energii dodávat neustále a ne být závislé na okamžité intenzitě slunečního záření, musí obsahovat odpovídající zásobníky nebo přídavné systémy.

1.3 Nabídka záření ze Slunce

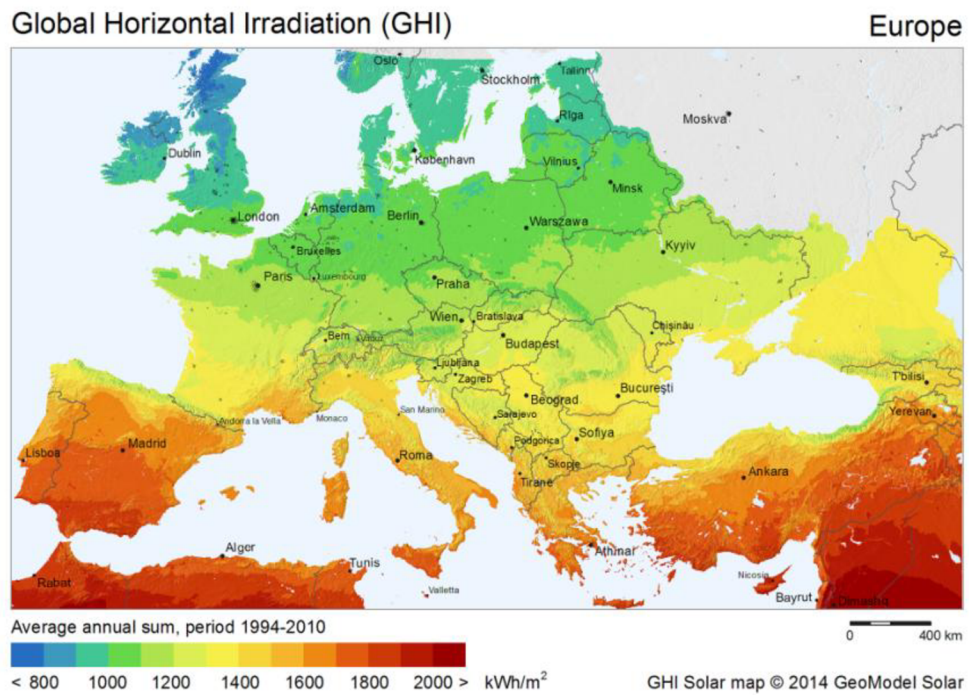
Pro navrhování solárních soustav je potřebné vyjadřovat nabídku záření ze Slunce v číslech. Jsou měřeny především dvě zajímavé hodnoty solárního záření:

- délka slunečního svitu, měřená v hodinách za měsíc nebo rok
- zářivá energie na vodorovnou plochu, jedná se o denní nebo měsíční sumy globálního záření na vodorovnou plochu měřené ve watthodinách na m^2 (Wh/m^2 nebo kWh/m^2)

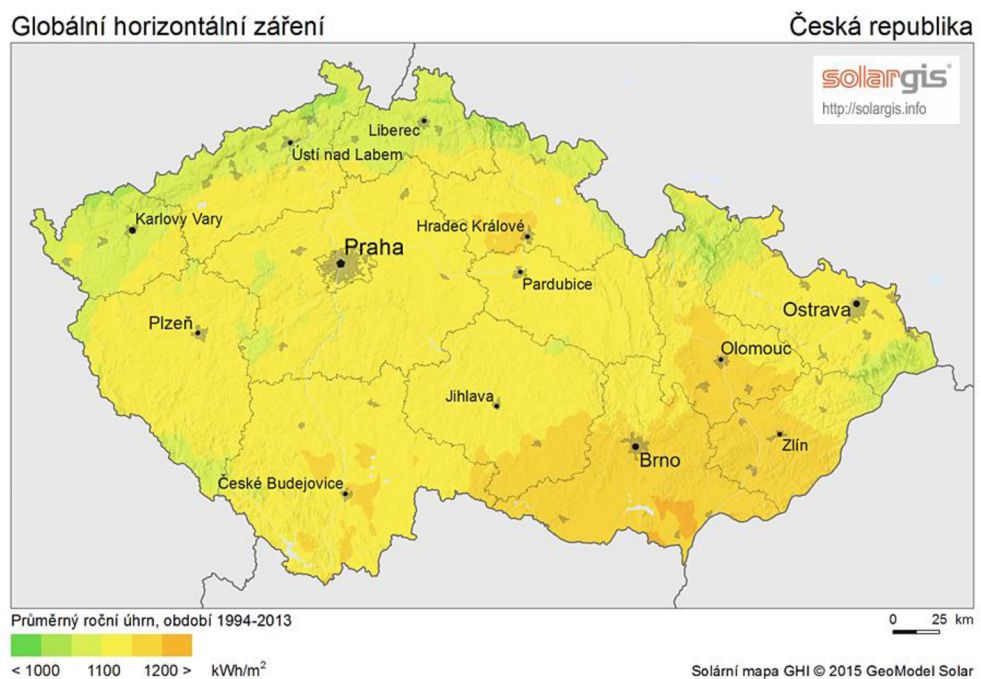
Aby mohly být tyto naměřené hodnoty brány v úvahu, sdělují meteorologové průměrnou nabídku, s ohledem na průměry za více let [4].



Obr. 1.3: Délka slunečního svitu za rok v ČR [1]



Obr. 1.4: Globální horizontální záření v Evropě [2]



Obr. 1.5: Globální horizontální záření v ČR [2]

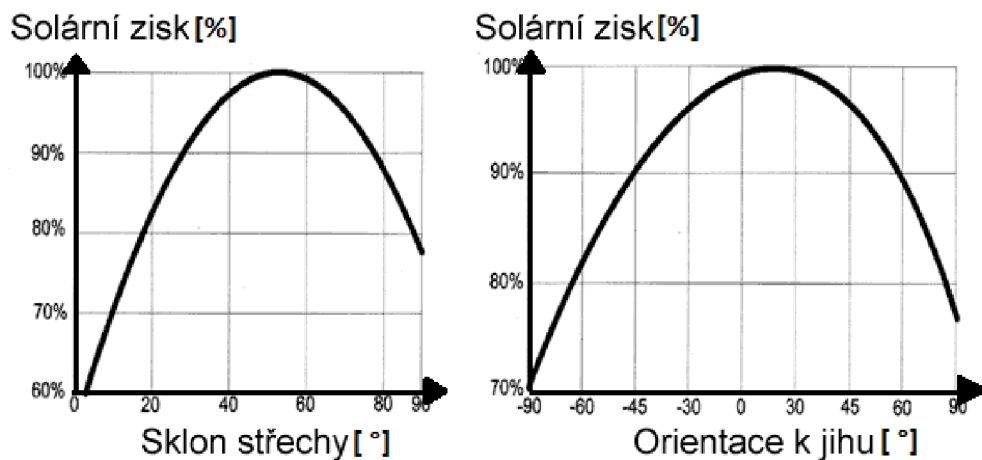
1.4 Orientace solárních kolektorů ke Slunci

Orientaci kolektoru ke Slunci lze příjem zářivé energie optimalizovat. Největší účinnosti může být dosaženo sledováním sluneční dráhy kolektorem. Toto řešení je však náročné jak technicky, tak finančně. V praxi se obvykle volí sklon konstantní, vhodný v rámci dané lokality.

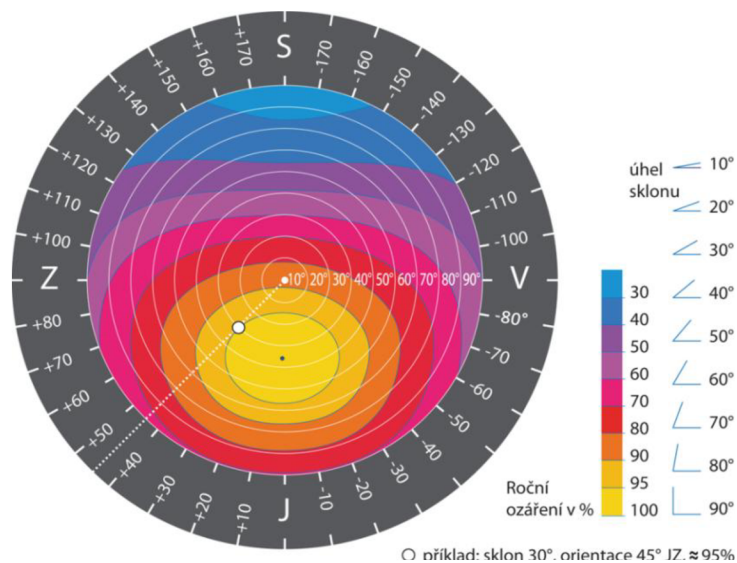
Příjem zářivé energie se mění, není-li ozářená plocha skloněná a orientovaná k jihu. Největší energie se dosahuje v letním období při cca 30°, zatímco v ostatních ročních obdobích je sklon cca 60°. Pro celoroční využití jsou obvyklé sklony mezi 30° a 60°.

Doporučené hodnoty sklonu kolektorů slunečního záření [1]:

- celoroční provoz - optimální sklon 40° - 45°
- sezonní letní provoz - optimální sklon 25° - 35°
- zimní sezonní provoz - optimální sklon 60° - 90°



Obr. 1.6: Vliv sklonu kolektoru na solární zisk [7]

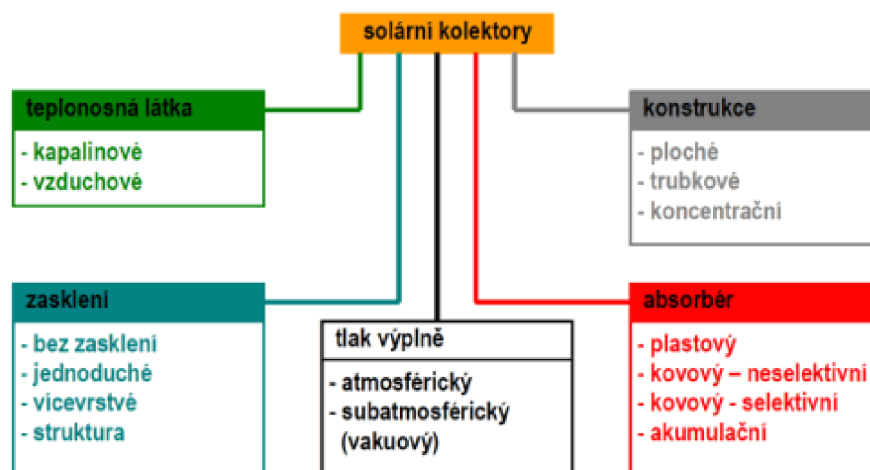


Obr. 1.7: Diagram vlivu orientace panelu na solární zisk [3]

2 Technické využití solární energie

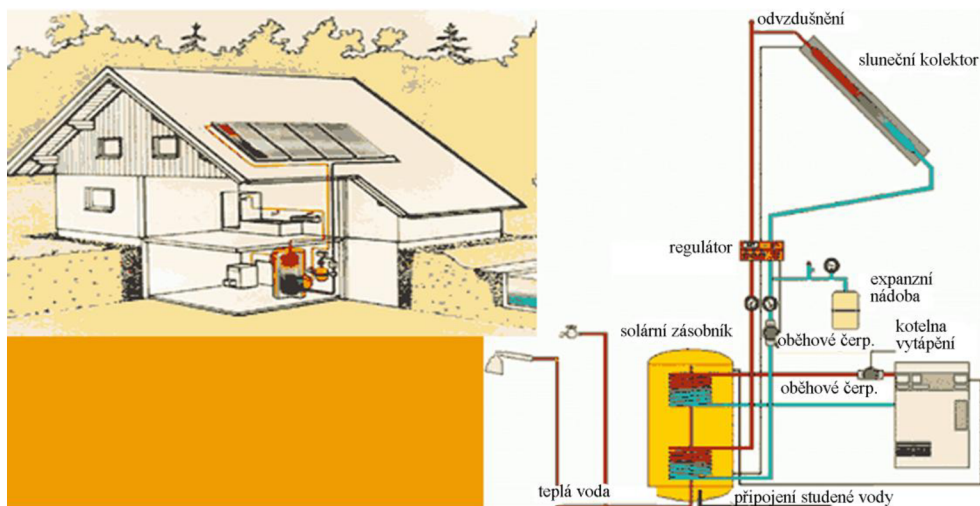
2.1 Solární kolektory

Jako sluneční kolektory nebo termické kolektory se označují takové systémy, které přeměňují sluneční záření na energii tepelnou [7].



Obr. 2.1: Rozdělení solárních kolektorů [5]

Hovoříme-li o aktivních solárních systémech, mohou tím být míněny jak systémy se slunečními kolektory, tak také fotovoltaické systémy. U pasivního využití solární energie se může využít samotný dům jako druh kolektoru.



Obr. 2.2: Schéma solárního systému [7]

2.2 Sestava zařízení se solárními kolektory

Solární zařízení se skládá z jednotlivých komponent solárního tepelného systému. Je to sluneční kolektor (častěji soustava kolektorů), tepelný zásobník a solární okruh (teplonosné médium, výměníky, čerpadla a armatury). Tyto komponenty tvoří ucelený systém pro přenos tepla se všemi potřebnými prvky.

Solární kolektor přeměňuje sluneční záření na teplo a převádí ho do teplonosného média (kapaliny, vzduchu), aby mohlo být transportováno k místu spotřeby. Solární kolektory se instalují tak, aby přijímaly co nejvíce slunečního záření, tedy především na jižních a nezastíněných střechách či fasádách, nebo jiných osluněných místech.

Solární soustavy musí plnit nejen tepelně-technické požadavky, ale také respektovat podmínky stavby a mít odpovídající estetický výraz [4].

Tepelný zásobník má za funkci vyrovnávat kolísání dodávek solární energie. Používají se různé konstrukce a polohy zásobníků v závislosti na daných podmínkách.

Solární okruh přivádí kolektorem vyprodukované teplo do solárního zásobníku. K systému přenosu tepla náleží také typizované potrubí, ventily, pojistná zařízení a podle druhu a velikosti zařízení čerpadla, řídicí jednotky, tepelné výměníky a další zařízení.

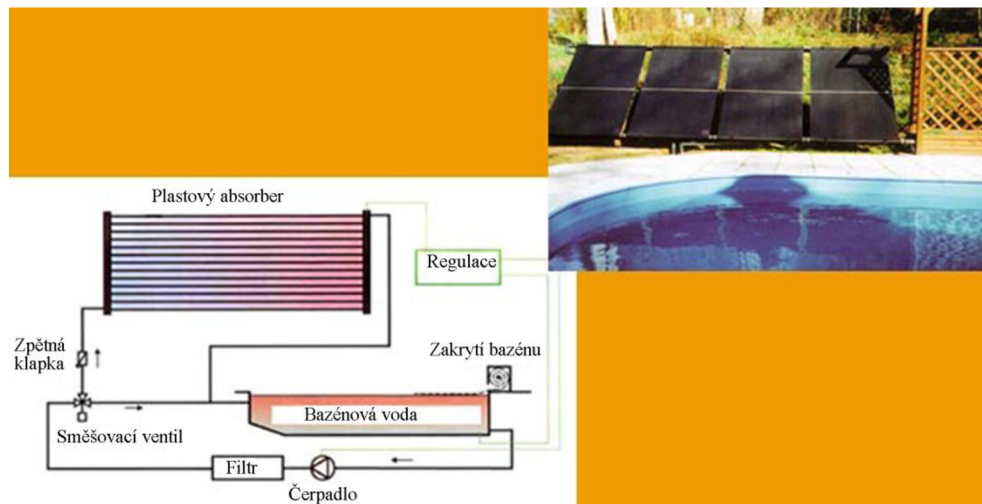
2.3 Možnosti použití

Solární soustavy se uplatňují v následujících oblastech [7]:

- ohřev vody v bazénech, zejména nekrytých
- ohřev užitkové vody v letním a přechodném období, resp. předehřívání v zimě
- vytápění, nejvíce vodou, řidčeji vzduchem (v přechodném období a v zimě)
- temperování výrobních a skaldových hal vzduchovými kolektory
- výroba procesního tepla pro průmyslové využití
- (solární) vaření
- (solární) sušení, např. potravin nebo sena
- destilace (např. odsolování mořské vody a příprava pitné vody)

2.4 Ohřev vody v bazénech

Při ohřevu vody v bazénech se přesně shoduje nabídka sluneční energie s poptávkou po ní. Ohřev vody pro bazény má jen malé tepelně-technické nároky. Zvýšení teploty o 5 až 10 °C lze dosáhnout kolektory nejjednodušší konstrukce; používány jsou převážně tzv. absorbéry, sestávající z paralelně vedených hadic z plastických hmot. Není potřebná jejich izolace ani překrývání sklem či fólií, protože se každé černé těleso při dobrém záření a jmenovaných nenáročných požadavcích dostatečně ohřívá. Tepelným zásobníkem je v tomto systému sama voda v bazénu. Na 1 m² vodní hladiny je potřeba 0,5 až 0,8 m² kolektorové plochy.



Obr. 2.3: Schéma ohřevu bazénové vody [7]

2.5 Solární ohřev TUV

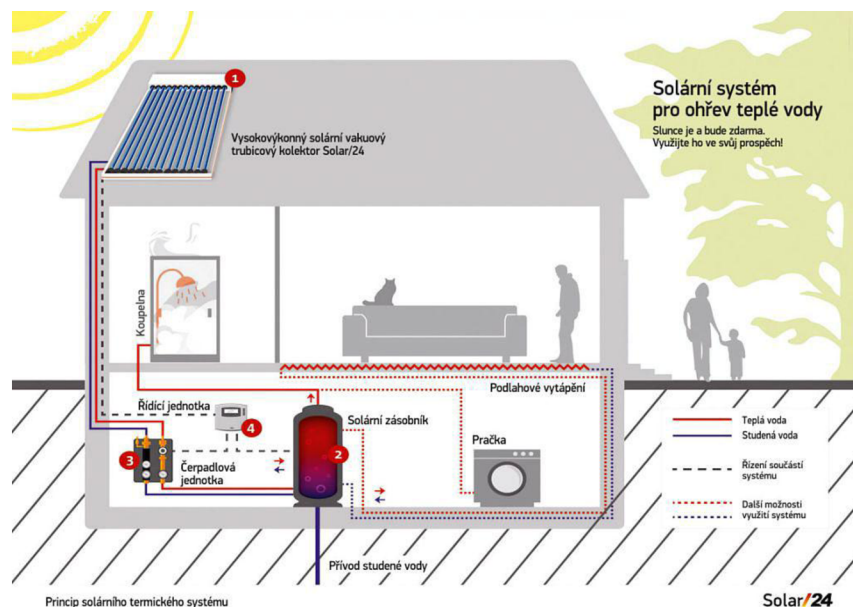
Při solárním ohřevu TUV se neshoduje nabídka sluneční energie s potřebou tepla tak dobře jako u jiných případů, například ohřevu bazénové vody. Přesto patří k nejvýznamnějšímu využití v oblasti termické solární energie. Při správném dimenzování může být zásobování domácností teplou vodou o rozsahu 45 - 50 °C zajištěno v letním období bez dodatečné další energie. V přechodných obdobích mohou dobře navržená solární zařízení práci běžného ohřevu teplé vody (elektřina, plyn) významně podpořit.

Pro zásobování teplou vodou je požadována teplota nejméně 45 °C, takže solární soustava musí ohřát vodu o více než 35 °C (při teplotě vody 10 °C z vodovodu) [4].

Sluneční kolektory jsou většinou ploché dobře izolované skříně, v nichž je za tabulí skla uložen černý absorbér. Zásobníky jsou vertikální válcové nádoby. Na rozdíl od solárních soustav pro bazény mohou i za příznivých zimních dnů přijímat velké množství energie.

Proto je nutno počítat s teplotami pod bodem mrazu a musí být v kolektorovém okruhu použit prostředek proti zamrznutí. Z tohoto důvodu je též nutný tepelný výměník, oddělující teplotnosnou kapalinu od použité pitné vody.

Jako směrné číslo pro solární soustavy platí, že na osobu s typickou spotřebou teplé vody 50 l/den připadá 0,8 až 1,5 m² slunečního kolektoru a objem zásobníku 70 až 100 l [7].



Obr. 2.4: Schéma solárního systému pro ohřev TUV [11]

2.6 Částečné solární vytápění

Pro vytápění obytných domů i průmyslových budov se používá velké množství fosilních nosičů energie. Proto je solární nebo částečně solární vytápění zajímavým a důležitým využitím soustav se solárními kolektory. Může nahradit i velké množství fosilní energie.

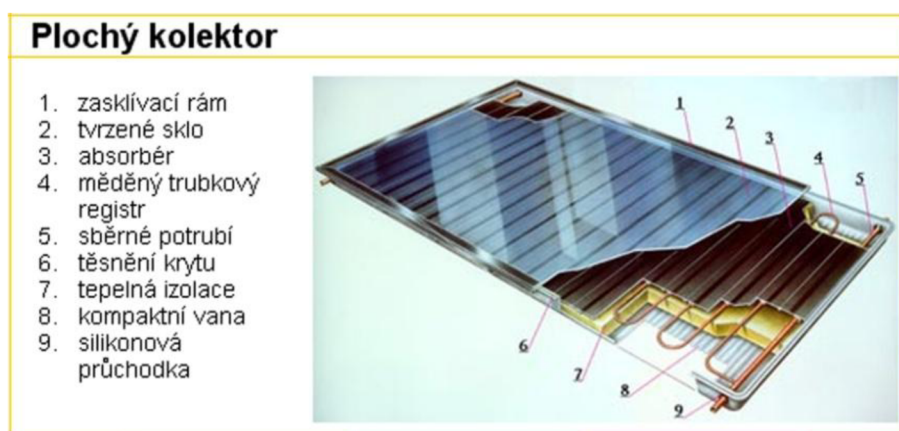
100% solární krytí potřeby tepla je teoreticky možné, v praxi spíše výjimečné. 20 až 30% krytí potřeby rodinného domu může být dosaženo již s kolektorovou plochou 8 až 20 m² ve spojení s objemem zásobníku 600 až 2000 l. Nejjednodušší koncept spočívá v systému s jedním zásobníkem pro teplou vodu, která je promíchána. Mnohem výhodnější jsou zásobníky s vrstvením vody podle její teploty (stratifikace).

Teplotní stratifikaci se rozumí vrstvení objemu zásobníku podle teploty řízeným ukládáním tepla do vrstev o stejné nebo podobné teplotě [19]. Tyto zásobníky se vyznačují promyšlenou systémovou technikou na principu pomalého průtoku (Low-Flow systém), která umožňuje optimální využití solární energie. Při výrazném snížení průtoku se silně zvýší teplota kolektoru až o 50 °C. Stratifikace se řídí systémem několika ventilů ovládaných na základě porovnávání teploty v dané vrstvě zásobníku a teploty přiváděné vody. Jednodušší je způsob samočinné trubkové stratifikační vestavby, která pracuje na základě rozdílu hustot mezi přiváděnou vodou z výměníku a vrstvami akumulčního zásobníku [19].

2.7 Funkce a konstrukce solárního kolektoru

Solární kolektor se skládá z většinou černě povrstvené kovové desky - absorberu, kolem kterého protéká teplotnosné médium. Na jeho povrchu se solární záření, a to jak přímé, tak i difuzní, mění na teplo. Povrch má mít schopnost dopadající záření pokud možno zcela přeměnit na teplo a přitom minimum tepla vyzářit zpět.

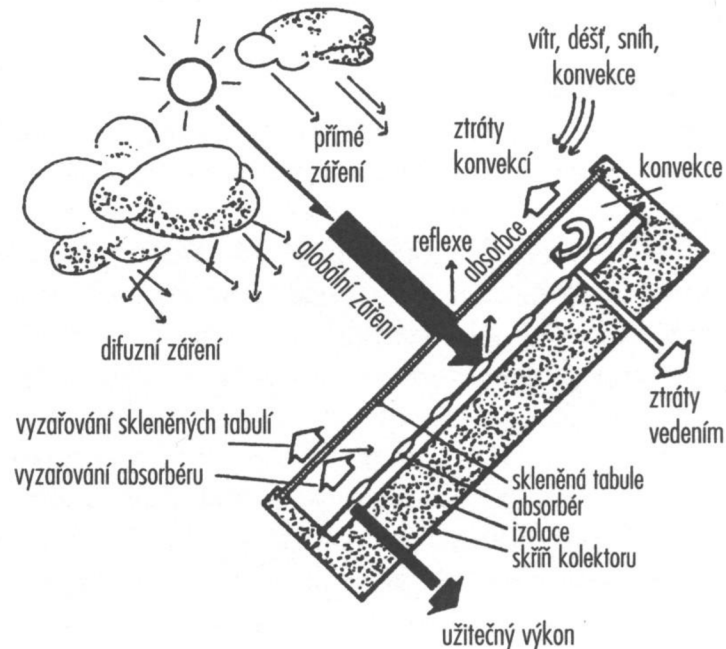
V absorberu nebo na něm jsou připevněny trubice, kterými protéká teplotnosná kapalina (nejčastěji voda nebo směs vody s přísadkou zajišťující mrazuvzdornost).



Obr. 2.5: Složení plochého solárního kolektoru [7]

2.8 Tepelné ztráty solárních kolektorů

Tepelná energie svým tepelným tokem vyrovnává teplotní rozdíly. Tudiž i zářením ohřátý absorbér část slunečního tepla opět ztrácí.



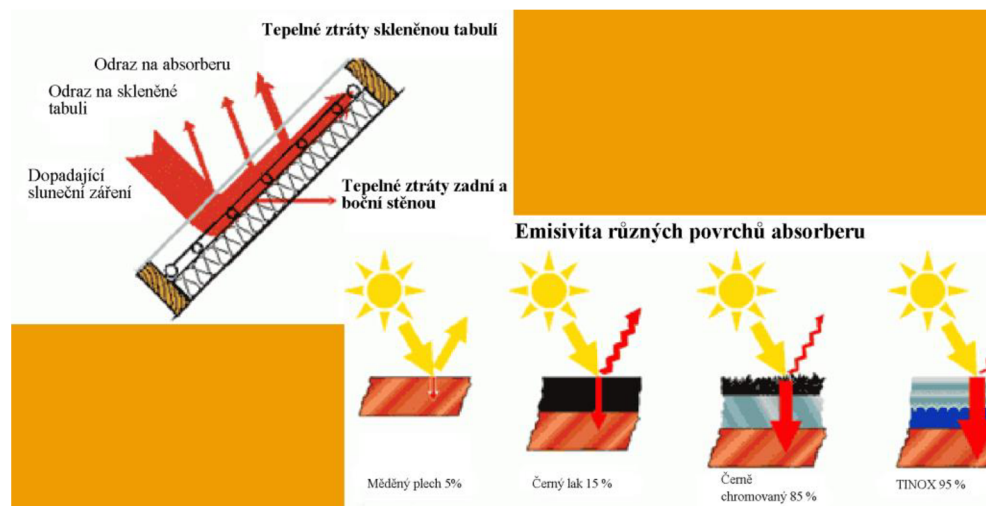
Obr. 2.6: Tepelné pochody v solárním kolektoru [7]

Přehled tepelných ztrát v solárním kolektoru [7]:

- Ztráty následkem vyzařování tepla - každé těleso, v našem případě absorbér, které je teplejší než jeho okolí, vyzařuje teplo formou dlouhovlnného infrazáření do okolí
- Ztráty konvekcí - na horkém absorbéru a všech teplých tělesech se ohřívá vzduch, stoupá a odvádí tím teplo
- Ztráty vedením tepla - upevňovacími prvky absorbéru, trubicemi a zadní stranou absorbéru je část tepla odváděna a ztrácena

V rámci minimalizace ztrát je absorbér plochého kolektoru vestavěn do skříně, ze všech stran uzavřené (kvůli omezení konvekce), po stranách a na zadní straně dobře tepelně izolované (omezení vedení tepla a vyzařování), na sluneční straně kryté transparentním krytem (nejčastěji sklem). Transparentní kryt musí sluneční záření dobře propouštět dovnitř, ale tepelné vyzařování absorbéru zadržovat. Větších výkonů dosahují trubkové kolektory, které používají vakuum místo tepelných izolačních hmot (minerální vlna, polyuretan).

(Převzato z [4]) Tepelný výkon Q_A vyvinutý na absorberu ovlivňuje zvýšení teploty absorberu v_m oproti teplotě okolí v_L . Zhruba na stejnou teplotu se ohřeje i absorberem protékající teplotonosná kapalina. Vlivem nevyhnutelných tepelných ztrát teplejších těles není celkový, na absorberu vyvinutý, tepelný výkon Q_A , také výkonem užitečným. Musí se odečíst tepelné ztráty kolektoru.



Obr. 2.7: Tepelné ztráty v solárním kolektoru [7]

Velikost tepelných ztrát je značně závislá na konstrukci kolektoru a přirozeně na rozdílu teplot ($v_m - v_L$) mezi absorberem a vnějším vzduchem. Čím teplejší je absorber, a čím větší je tedy rozdíl teplot mezi ním a okolím, tím větší jsou tepelné ztráty, označené nadále Q_V . Souvislost se dá vyjádřit vzorcem:

$$Q_V = k \cdot (v_m - v_L) \quad (2.1)$$

$$Q_A = \alpha \cdot \tau \cdot E \quad (2.2)$$

Užitečný výkon Q_N , který je odváděn v ohřáté teplotonosné kapalině, je rozdílem mezi tepelným výkonem na absorberu Q_A a tepelnými ztrátami kolektorové konstrukce Q_V :

$$Q_N = Q_A - Q_V = \alpha \cdot \tau \cdot E - k \cdot (v_m - v_L) \quad (2.3)$$

Kde:

E	sluneční záření ve W/m^2
τ	součinitel transmise transparentního krytu
α	součinitel absorpce absorbérů
k	součinitel měrné tepelné ztráty kolektoru ve $W/(m^2K)$
v_m	střední teplota absorbérů ve $^{\circ}C$
v_L	teplota v okolí kolektoru ve $^{\circ}C$
Q_A	tepelný výkon absorbérů ve W/m^2
Q_V	tepelná ztráta absorbérů ve W/m^2
Q_N	užitečný tepelný výkon ve W/m^2

Tento vztah, nazývaný také kolektorovou rovnicí, popisuje všeobecné vztahy mezi energií záření, teplotou kolektoru, tepelnými ztrátami a užitečným výkonem. Zanedbány jsou jisté okrajové efekty, jako např. ztráty reflexí závislé na úhlu dopadu záření, tepelná kapacita kolektoru nebo nelineární závislost mezi teplotou a tepelnými ztrátami.

Jakmile jsou známy charakteristické hodnoty α , τ a k , které lze normovým postupem naměřit a udávají je výrobci, dá se při znalosti daného záření vypočítat pro libovolnou teplotu absorbérů výsledný užitečný tepelný výkon.

2.9 Účinnost kolektorů

(Převzato z [4]) Jako u všech technických zařízení je účinnost definována jako poměr mezi odevzdávaným výkonem kolektoru a příkonem záření na něj:

$$\eta = Q_N / E = \alpha \cdot \tau - k \cdot (v_m - v_L) / E \quad (2.4)$$

Když vykazuje absorbér stejnou teplotu jako okolní vzduch, nenastávají žádné tepelné ztráty, protože $v_m - v_L = 0$. V tomto případě dosahuje kolektor maximálního stupně účinnosti.

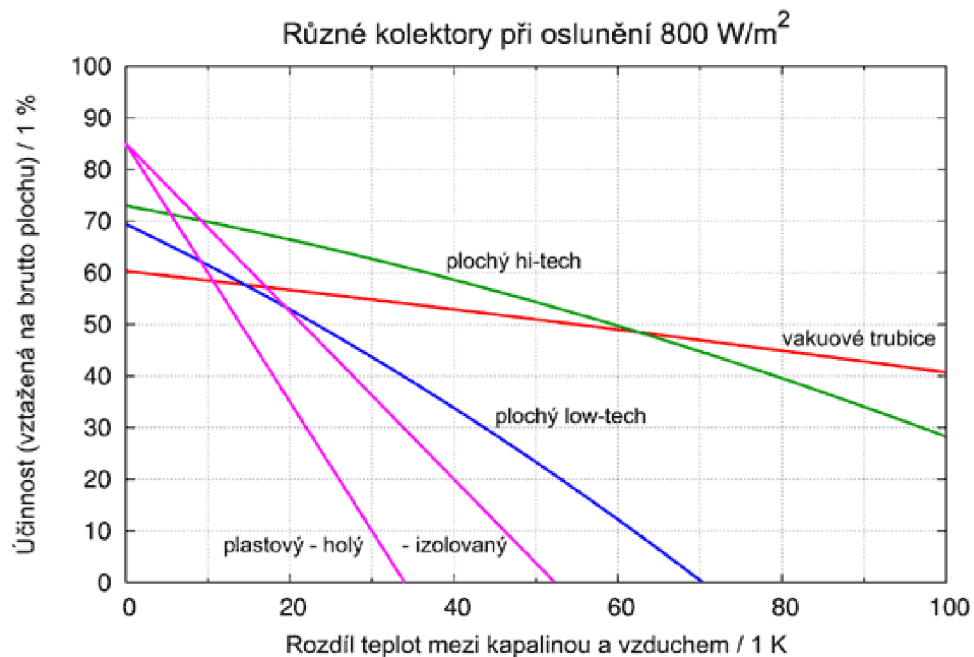
2.10 Křivky účinnosti kolektorů

Křivka účinnosti kolektorů dává jasný obrázek, pro jaké použití jsou různé typy kolektorů nejvhodnější. Kritériem pro volbu kolektoru je zejména potřebná teplota vody a plánovaný účel ohřevu.

Plastové absorbéry mají nejvyšší účinnost při velmi nízkých rozdílech teplot mezi nimi a okolním vzduchem. Obvyklá teplota u nich dosahuje 30 °C. Při ohřevu vody stačí kolektor s neselektivní vrstvou (plochý low-tech). Dostačující je i v případě přitápění do podlah a stěn, kde pracuje s malým teplotním spádem.

Pokud je potřeba dosáhnout vyšších zisků, volíme kolektor se selektivní vrstvou (plochý hi-tech). Teploty dosahují u obou typů plochých kolektorů cca 80 – 100 °C. Vakuované kolektory dosahují teplot větších než 100°C, mají ale nižší účinnost v letním období. Pokud máme menší plochu pro umístění kolektorů, než je doporučená, volíme účinnější (a dražší) druh kolektoru, který nám zvýší zisky z dané plochy. Podobně při použití např. na horách musíme volit účinnější, nejlépe selektivní nebo vakuovaný, kolektor.

Pro potřeby posouzení kvality a vzájemného porovnávání kolektorů, provádí uznávané zkušební testy odpovídající normám.



Obr. 2.8: Křivky účinnosti kolektoru [4]

2.11 Tepelné výměníky

Tepelné výměníky, resp. předávání tepla, slouží k přenosu tepla z jednoho média na druhé při současném oddělení obou okruhů [4].

Aby solární kolektor pracoval s vysokou účinností, je třeba tepelný výměník dimenzovat tak, aby výstupní teplota na primární straně, která odpovídá přibližně vstupní teplotě vody do kolektoru, byla pokud možno nízká.

Tepelné výměníky rozdělujeme podle jejich konstrukce následovně:

- Vnitřní (hladká nebo vlnitá trubka v zásobníku)
- Vnější (svazek trubek nebo desky mimo zásobník)
- Dvouplášťové (dvojitá stěna kolem zásobníku)

2.12 Tepelné zisky kolektorů

Díky hodnotám charakteristik kolektorů je možné jejich vzájemné srovnávání, avšak tyto hodnoty jsou, zejména pro laika, velmi abstraktní. Podstatně názornější je porovnávání tepelných zisků kolektorů.

Tepelný zisk kolektoru je v podstatě jeho tepelný výkon, který se stanovuje z měření průtoku teplotonosné kapaliny kolektorem a rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem kolektoru [20]:

$$Q_k = M \cdot c \cdot (v_2 - v_1) \quad (2.5)$$

kde:

M	hmotnostní průtok teplotonosné kapaliny kolektorem v kg/s
c	měrná tepelná kapacita teplotonosné kapaliny v J/(kg.K)
v₁	teplota na vstupu do solárního kolektoru ve °C
v₂	teplota na výstupu ze solárního kolektoru ve °C
Q_k	tepelný výkon kolektoru ve W

Účinnost solárního kolektoru za ustálených podmínek:

$$\eta = Q_k / E \cdot A_k \quad (2.6)$$

kde:

E	sluneční záření ve W/m^2
A_k	vztažná plocha kolektoru v m^2
η	účinnost solárního kolektoru

Účinnost solárního kolektoru závislá na venkovních klimatických podmínkách:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot (v_m - v_e) / E - a_2 \cdot (v_m - v_e)^2 / E \quad (2.7)$$

kde:

η₀	účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu
v_m	střední teplota teplotnosné kapaliny ve °C
v_e	teplota okolí ve °C
a₁	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ve $W/(m^2.K)$
a₂	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ve $W/(m^2.K^2)$

Tepelný výkon solárního kolektoru:

$$Q_k = A_k \cdot [E \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (v_m - v_e) - a_2 \cdot (v_m - v_e)^2] \quad (2.8)$$

Rovnice (2.4) a rovnice (2.7) vyjadřují účinnost solárního systému, ale každá z jiného pohledu. První z pohledu poměru odevzdaného výkonu kolektoru a příkonu záření na něj. Druhá rovnice vychází ze závislosti na venkovních klimatických podmínkách a od účinnosti solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu odečítá lineární a kvadratický člen založený na rozdílu teploty teplotnosné kapaliny a teploty okolí.

Jako jednotka pro vzájemné porovnávání se používá měrná potřeba tepla v $kWh/m^2.rok$. Vyjadřuje množství tepla, které je vztaženo na jednotku plochy.

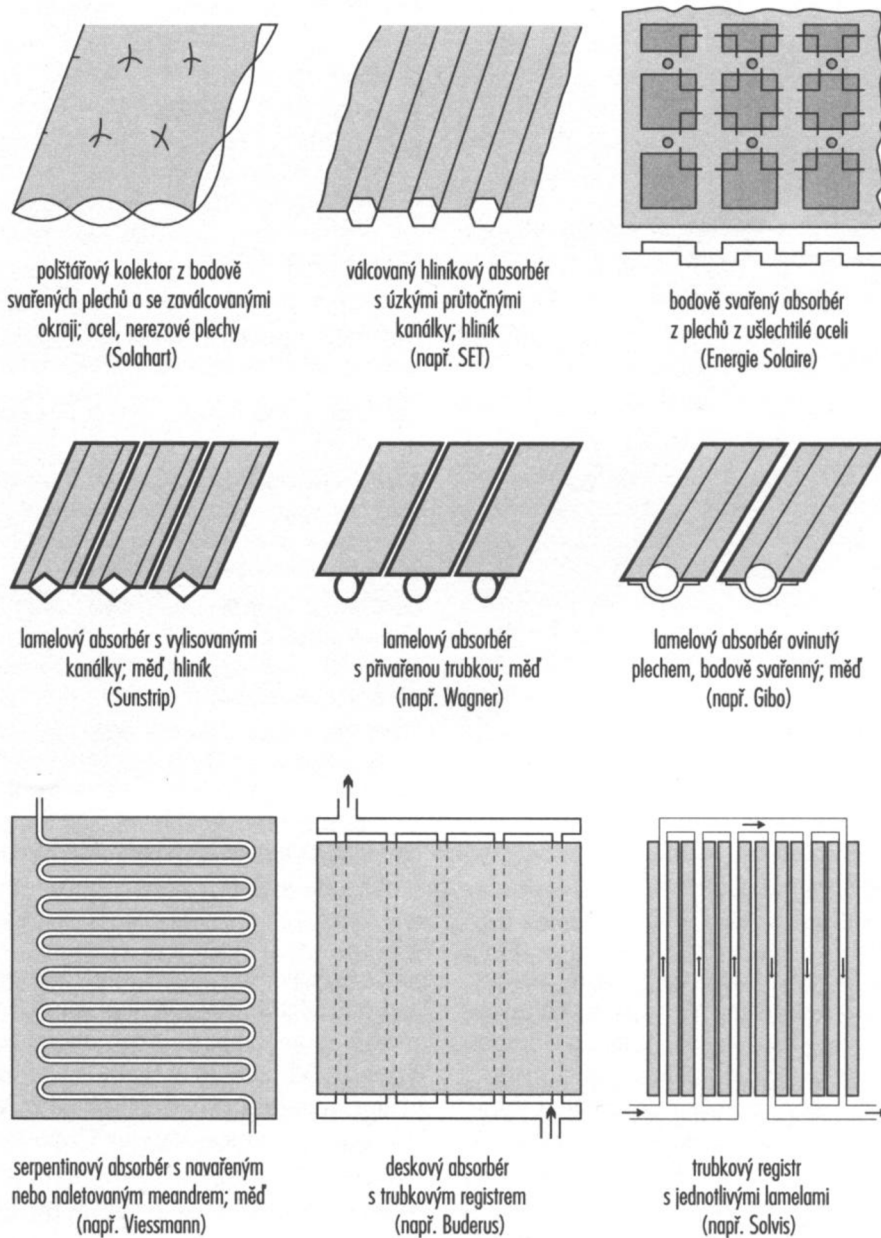
Podle druhu konstrukce byly určeny následující směrné hodnoty [7]:

- Ploché kolektory bez selektivního povrstvení 250 až 400 $kWh/m^2.rok$
- Ploché kolektory se selektivním povrstvením 320 až 530 $kWh/m^2.rok$
- Vakuované trubicové kolektory 400 až 890 $kWh/m^2.rok$

Účinnost kolektoru je dána principem jeho konstrukce, jeho vrstvením, dále odolností transparentního krytu a jakostí jeho utěsnění ve skříní.

2.13 Materiálové vlastnosti stavby kolektorů

Jako materiály pro absorbery se s ohledem na vysoké teploty při možném chodu naprázdno volí téměř výhradně měď, ocel a hliník. Pro každý materiál je typický způsob jeho zpracování.



Obr. 2.9: Materiály a konstrukční formy absorberů [4]

- Lamelový absorbér – sestává z korozně odolné měděné trubky a absorpčního pásu (lamely z mědi nebo lehčího a levnějšího hliníku)
- Deskový absorbér – z mědi nebo oceli se zalisovaným nebo naletovaným systémem měděných trubek
- Polštářový absorbér – z běžné nebo ušlechtilé oceli
- Válcovaný absorbér – z hliníkového plechu

V počátcích vzniku solární techniky byly nabízeny všemožné konstrukce absorbérů, zatímco dnes je na trhu největší zastoupení absorbérů lamelových. Spojení mezi měděnou trubkou a lamelou je prováděno svařováním (ultrazvukovým, bodovým, laserovým, nebo elektromagnetickým), letováním, nebo zalisováním.

Nejpodstatněji závisí výkonnost absorbérů na povrstvení jeho horní plochy. Ta musí vykazovat nejen vysoký stupeň absorpce, ale musí být odolná i vůči vysokým teplotám a jejich častému střídání. Vedle černých nátěrů, nanášených často nástřikem, jsou to technicky selektivní vrstvy, jimiž se dají tepelné ztráty kolektoru výrazně snížit. Dnes nejpoužívanější povrstvení – černý chróm, nebo niklem pigmentový hliník, se v průmyslovém měřítku nanáší galvanicky.

Transparentní kryt kolektoru má být pro sluneční záření co možná nejvíce propustný, na druhé straně má zadržovat zpětné dlouhovlnné vyzařování kolektoru, a tak redukovat tepelné ztráty do okolí, zejména při působení větru. Absorbéry se selektivním povrstvením dosahují již při jedné vrstvě zakrytí přijatelné hodnoty součinitele prostupu, tím pádem je dnes většina nabízených kolektorů opatřena pouze jedním sklem.

Z materiálů se pro vnější krytí výrazně prosadilo bezpečnostní sklo chudé na železo, tepelně zpracované (tvrzené) o tloušťce 3 až 6 mm, které vykazuje vysokou propustnost světla a je velmi odolné vůči krupobití. Obecně spočívá přednost skla v dlouhodobé stabilitě transmisních hodnot a mechanické pevnosti.

K tepelné ochraně absorbérů ze spodní a bočních stran jsou často používány tvrdé desky z pěnového polyuretanu (PU). Pro své velmi dobré izolační vlastnosti umožňují tvrdé pěnové PU desky volit menší výšku kolektorové skříně. Proti možnému nárůstu teploty přes 200 °C musí být před vysokými teplotami absorbérů chráněny ještě odolnou mezivrstvou. Vzhledem k lepší tepelné odolnosti jsou v současnosti hromadně využívány tepelné izolace na bázi čedičových a skelných rohoží nebo desek.

Skřín kolektoru musí trvale a s jistotou chránit absorbér a tepelnou izolaci před vlivy počasí a vlhkostí, zajišťovat vzájemné spojení absorbérů, izolace a krytu v jeden celek a umožnit tak jejich montáž na místě instalace. Použitelné jsou následující konstrukce a materiály:

- Hliník jako nejpoužívanější materiál pro rámy kolektorů, převážně ve formě protlačovaných hliníkových profilů
- Plastické hmoty, které někteří výrobci používají pro skříně, jako např. PESL (polyesterové skelné lamináty), nebo recyklovatelné plasty

- Pozinkovaný nebo nerezový plech jako klasické výrobky
- Dřevo jako ekologický materiál, které používají někteří výrobci

V kolektoru mohou nastat situace, při nichž vlhkost vzduchu uvnitř skříně, odpovídající obvykle vlhkosti vzduchu venkovního, kondenzuje na vnitřní straně skleněného krytu, což vede k úbytku výkonosti kolektoru.

Je žádoucí, aby se dalo s kolektory na stavbě snadno manipulovat. Proto je velikost mnoha dnes nabízených kolektorů 1 až 2,5 m², hmotnost prázdných kolektorů od 20 do 30 kg/m². Takové kolektory se dají dobře transportovat a montovat dvěma pracovníky i bez dalších pomocných prostředků. Zákony tepelné techniky (méně ztrát bočními stěnami, méně potrubí) hovoří pro větší kolektorové jednotky – např. tzv. velkoplošné kolektory s plochou 4 až 12 m², které jsou také v nabídce výrobců.

2.14 Fasádní kolektory

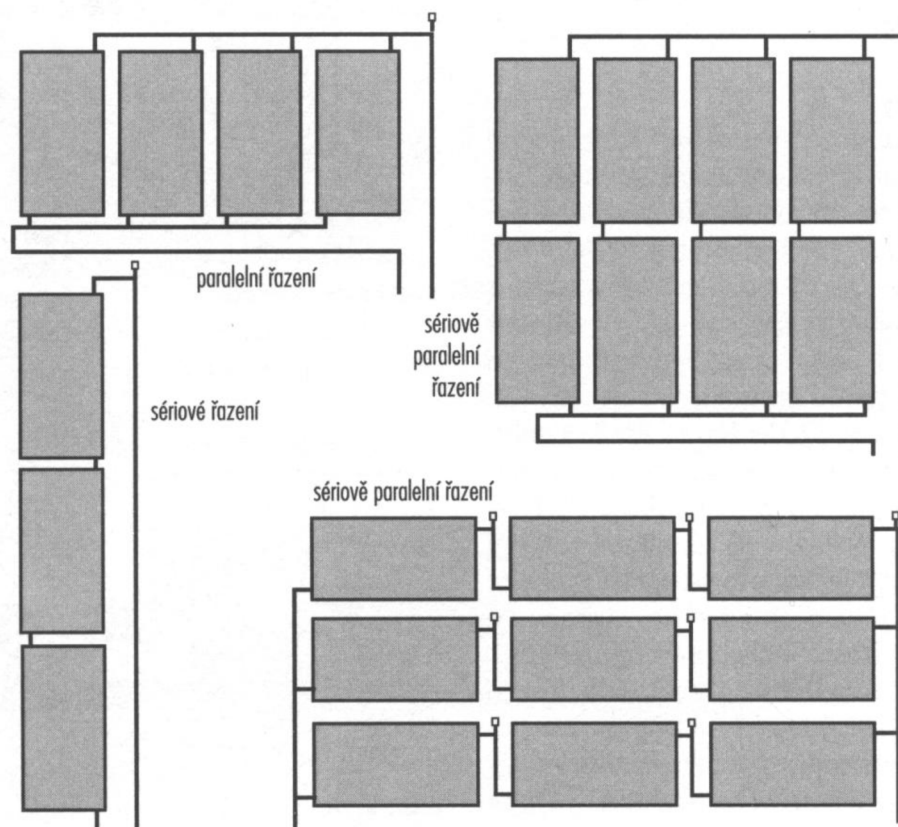
Fasádní kolektory v podstatě nejsou nic jiného než běžné solární kolektory, které nebudou instalovány na střeše, ale na fasádě budovy. Integrací do fasády, i s ohledem na konstrukční detaily a požadavky – například na ochranu budovy před hlukem a vlivy počasí, se dá dosáhnout příznivých nákladů.

Při instalaci kolektorů, především na jižně orientovanou svislou stranu fasády, je využita nabídka slunečního záření zejména v zimním období, kdy se Slunce nachází na obloze v nízké poloze. Fasádní kolektory jsou navrhovány pro podporu vytápění budovy v přechodných obdobích a v zimě, zatímco v létě je produkce tepla poněkud omezena.

2.15 Řazení a propojení kolektorů

U každé solární tepelné soustavy, skládající se z více modulů, vyvstává otázka, jak sestavit jednotlivé kolektory z hlediska průtočnosti do jedné velké plochy s větším ziskem tepla.

Pro výkonost soustavy a efektivní odběr získaného tepla má rozhodující význam rovnoměrný průtok všemi kolektory a celou plochou jednotlivých absorberů. Proto musí být geometrie absorberů přizpůsobena průtoku a hydraulickému řazení. V zásadě je možné sériové a paralelní řazení a kombinace těchto dvou, tedy sériově paralelní řazení.



Obr. 2.10: Typy řazení solárních kolektorů [7]

Sériové řazení má tu přednost, že jsou všechny kolektory protékány stejnoměrně, ovšem s počtem za sebou řazených ploch stoupá nejen teplota odváděného teplotnosného média, ale exponenciálně také průtočný odpor jako součet jednotlivých odporů všech kolektorů, sériové řazení více než dvou až tří kolektorů nemá obecně vzato smysl.

Čistě paralelní řazení se nabízí u malých velikostí solárních soustav. Všechny kolektory jsou napojeny na jedno horní a jedno dolní sběrné potrubí.

2.16 Konstrukce vodních zásobníků

Přehled různých zásobníků:

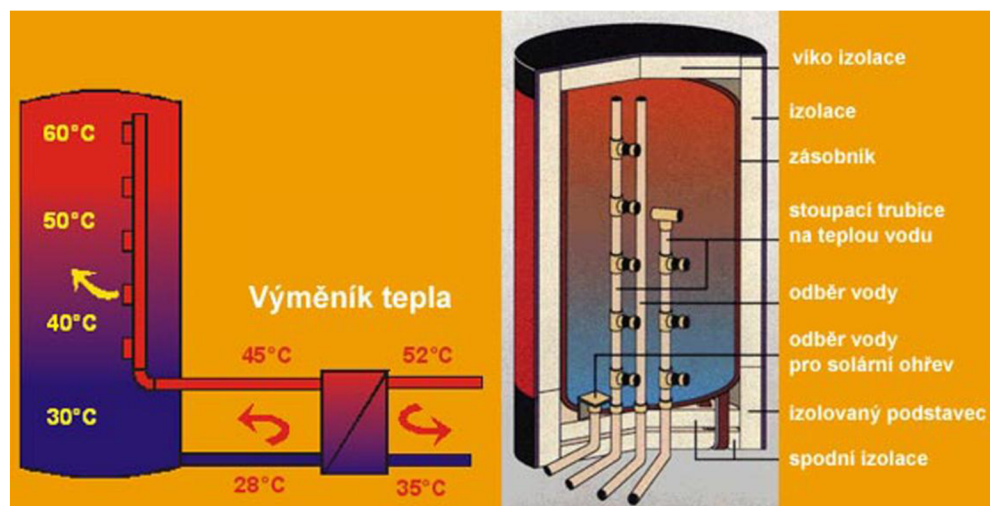
- Materiály pro zásobník
 - ocel
 - ušlechtilá ocel
 - plast
- Konstrukce a účel použití
 - zásobník pitné vody
 - kombinovaný zásobník nebo nádrž v nádrži
 - vyrovnávací zásobník
- Tlakové poměry v zásobníku
 - tlakový
 - beztlakový

Pro solární přípravu teplé vody přichází v úvahu převážně ocelové zásobníky. Zásobníky na pitnou vodu jsou pro ochranu před korozi uvnitř smaltovány (nejčastěji dvojmo) nebo povrstveny plastickou hmotou.

Pro ochranu vůči vnitřní korozi bývá u smaltovaných zásobníků, zejména při spojení s tepelnými výměníky z mědi, našroubována do nádrže magneziová tyč, tzv. obětovaná anoda [4].

Zásobníky z ušlechtilé oceli se vyznačují odolností vůči korozi a dlouhodobou životností, aniž by bylo nutné učinit protikorozní opatření.

Zásobníky z plastické hmoty nejsou dosud příliš rozšířeny. Nejsou odolné tlaku, takže mohou být navrhovány jen jako beztlakové zásobníky.



Obr. 2.11: Příklad ocelového stratifikačního zásobníku [7]

2.17 Teplonosná média

Na teplonosné kapaliny jsou kladeny následující požadavky:

- Vysoká tepelná jímavost, tzn. velká specifická tepelná kapacita
- Nízká viskozita, tj. dobré vlastnosti pro tok a proudění kapaliny
- Mrazuvzdornost až 10 °C pod střední nejnižší teploty, požadované při projektování ústředního vytápění, podle lokality až -28 °C
- V oblasti provozních teplot se nesmí projevit var
- Nesmí podporovat korozi potrubních systémů

Pro solární soustavy ve středoevropském klimatu jsou používány převážně směsi vody s nemrzoucími přípravky (glykoly) s přídavkem přípravku proti korozi (inhibitoru).

2.18 Způsoby provozu solárních soustav

Podle oběhu teplonosného média solární soustavou existují různé koncepce jako High-Flow, Low-Flow, Matched-Flow a Drain-Back systémy. Tato označení poukazují na podstatně rozdílné průtoky média na čtvereční metr plochy kolektoru.

High – Flow (vysoký průtok) dosahuje optimálních zisků při průtocích 30 až 70 l za hodinu na m² plochy kolektoru.

Atributem Low – Flow (nízký průtok) jsou označovány kolektorové soustavy pracující ve srovnání s konvenčními koncepcemi se značně sníženým průtokem média v solárním okruhu.

Teprve při výrazně sníženém průtoku se projeví řada rozdílů. Při sníženém průtoku se silně zvýší teplota kolektoru, a to až o 50 °C. Důležitý rozdíl oproti provozu v High – Flow systému je také v hydraulice a řazení kolektorů.

2.19 Regulace a další komponenty solárních systémů

Tam, kde používáme nuceného oběhu tepla, musíme do systému zařadit regulační zařízení. Zabezpečuje nám optimální výkon systému a chrání systém před poškozením.

V nejjednodušší variantě vyrovnává prostřednictvím dvou teplotních čidel teplotu absorbéru s teplotou v nádrži v oblasti solárního tepelného výměníku a zapíná oběhové čerpadlo, když je teplota absorbéru o nastavenou hodnotu vyšší než teplota v nádrži. Jestliže už tomu tak není, regulace čerpadlo opět vypne.

Vedle této základní funkce má většina regulací ještě funkce přídatné, jako např. omezování teplot v nádrži, aby se zabránilo tvorbě vodního kamene na tepelném výměníku při teplotách nad 60 °C a také z důvodu ochrany před přehřátím nádrže.

Regulátor též může zajistit ohřev nádrže z dalších zdrojů vytápění, pokud je to potřeba. Jestliže nám solární systém mimo ohřevu vody zabezpečuje přitápění, případně ohřev vody v bazénu, musí regulace zabezpečit optimální využití aktivního výkonu solárního systému do správných spotřebičů.

Moderní řízení takovýchto systémů zahrnuje mikroprocesorovou měřicí a řídicí jednotku, čidla teplot a průtoků, online monitoring a vzdálenou správu. Do rozhodovacích mechanismů se zapojují předpovědi počasí, získávané vlastními meteostanicemi či z údajů dostupných na internetu.



Obr. 2.12: Regulace solárního systému [7]

3 Popis stavu systému před optimalizací

3.1 Solární systém na SPŠ Edvarda Beneše a OA Břeclav

Průběh akcí při realizaci solárního systému [10]:

- 1. 3. 2001 - přípravná studie možnosti ohřevu teplé vody na SPŠ
- 10. 4. 2001 - energetický audit
- 19. 7. 2001 - rozhodnutí SFŽP o poskytnutí dotace
- 27. 9. 2001 - výběrové řízení o zadání veřejné zakázky
- 13. 5. 2002 - slavnostní uvedení solárního zařízení do provozu
- 13. 5. 2002 - seminář „Využití solární energie“
- 20. 5. 2002 - konference „Slunce 2002“
- 18. 9. 2014 - nová řídicí jednotka a webové rozhraní
- leden 2016 - výměna plynových kotlů školní jídelny
- únor - červen 2016 - optimalizace provozu solárního systému

Požadavkem SPŠ Břeclav bylo zvolit adekvátní pokrytí přípravy TUV pro školu a jídelnu a tím snížit celkové náklady na tepelnou energii a zároveň tuto případnou realizaci solárního systému skloubit s výstavbou nových prostor školy. Po prvním seznámení s požadavky školy a po vysledování denního, týdenního a měsíčního průběhu odběru TUV následovaly simulace určení velikosti solární plochy, respektive velikost zásobníku a kolektorové plochy. Ukázky těchto dokumentů viz přílohy.

Bylo zde použito nového typu kolektoru „Ekostart DOMA“, pocházejícího ze společnosti Ekosolaris. Používá se jako fasádní nebo vestavěný kolektor, ve spojení s koncepcí užívanou v zemích EU, to vše doplněno o elektronickou regulaci. Teplonosným médiem je Solaren.

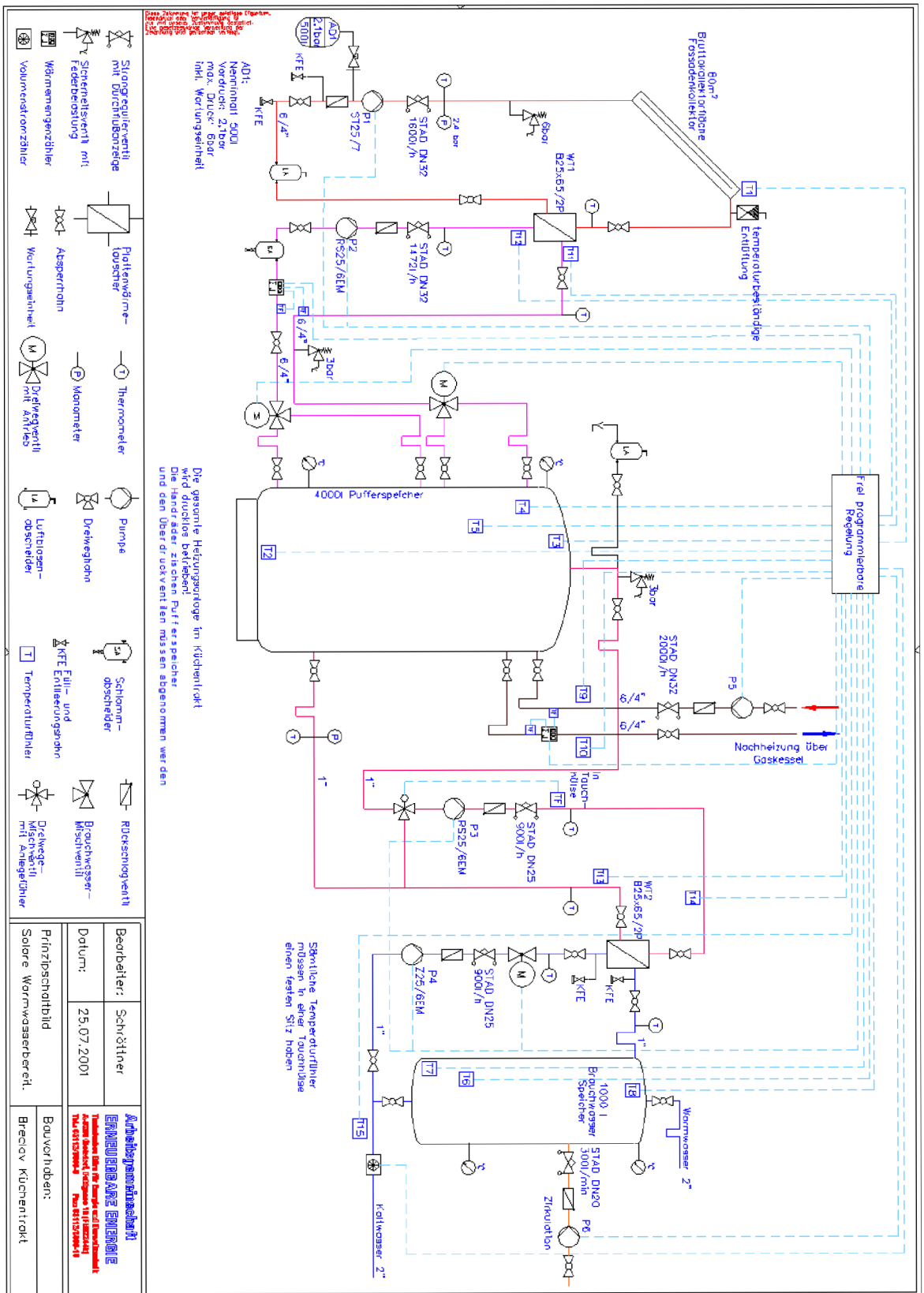
Velikost zásobníku TUV neodpovídá energetické možnosti velikosti kolektorové plochy. Je to z toho důvodu, že u velkých systémů, hlavně ve školských zařízeních, je TUV odebírána během dne nárazově v několika špičkách. V tomto případě je zvolen menší zásobník TUV, který je několikrát za den dohříván. Tato přednost je využita v období v nižším potenciálu sluneční energie, kdy může dojít k potřebné akumulaci TUV.

V simulacích se uvažovalo jak o kolektorové ploše umístěné na střeše školského zařízení, což umožňuje využití optimální orientace a sklonu kolektorové plochy, tak i o možnosti umístění kolektorové plochy na fasádu nového objektu školy. Samozřejmě že druhá varianta neumožňuje stejnou energetickou výtěžnost z nainstalovaného 1 m² kolektorové plochy, to je dáno jejím sklonem, avšak řeší několik otázek spojených s využíváním solárního systému na školách obecně. Dá se říci, že školská zařízení jsou v období největších možných energetických zisků (červenec, srpen) málo vytížena a tím pádem nespotřebují tolik tepelné energie jako v měsících standardního provozu. Zde právě volbou kolektorové plochy na fasádu (90°) zajistí menší energetický zisk v období prázdnin, kdy je v provozu pouze školní jídelna, která spotřebovává asi 40 % své běžné spotřeby. Dalším přínosem je celkový estetický vzhled kolektorové plochy na fasádě objektu.

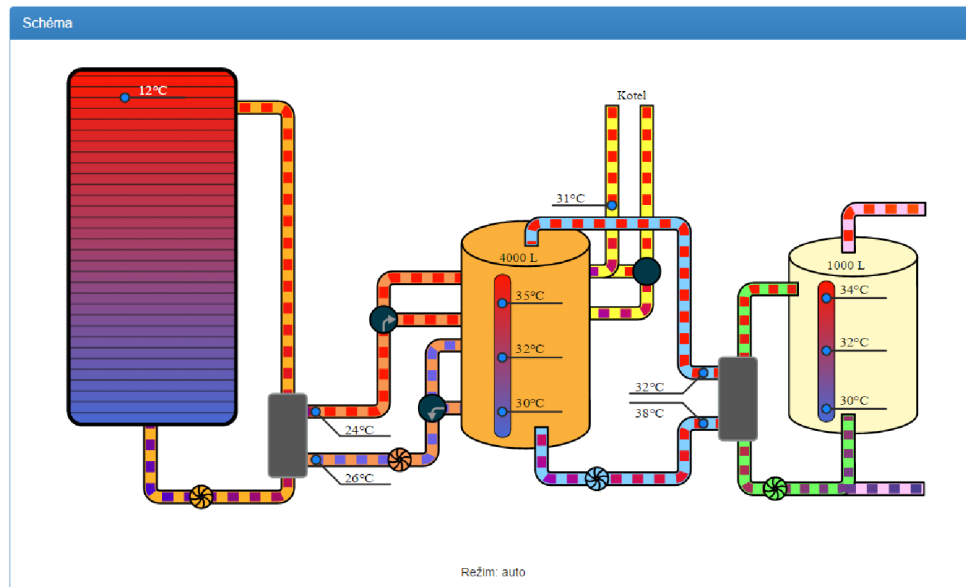
Koncepce solárního systému byla zvolena v uspořádání akumulčního zásobníku topného média o objemu 4 000 l a pohotovostního zásobníku TUV o objemu 1 000 l. Koncepce kolektorové plochy přinesla ještě jednu zajímavost, a to v rychlosti její instalace. Kolektorová plocha o velikosti 80 m² byla nainstalována za přibližně 5 hodin.

3.2 Stav řízení a regulace před optimalizací

Před optimalizací bylo řízení solárního systému prováděno pevně a nevhodně nastavenými teplotními pásmy, o čemž vypovídá jediný dochovaný fragment dat z roku 2002. Sofistikovanější regulace prakticky neprobíhala. Programová jednotka je osazena modulem jednočipového mikropočítače Arduino s dálkovou správou a online výstupem v podobě informační webové stránky. Data jsou logována na serveru. Shromážděná data vypovídala o nevhodných teplotách v solárním zásobníku, které byly způsobeny mimo jiné probíhající výměnou plynových kotlů a odpojováním ohřevu.



Obr. 3.1: Schéma solárního systému SPŠ Břeclav [10]



Obr. 3.2: Webové rozhraní monitoringu před optimalizací [10]



Obr. 3.3: Orientace solárních kolektorů na budově [fotografie autor]



Obr. 3.4: Solární zásobník 1000 l [fotografie autor]



Obr. 3.5: Pohled na výměníky a další infrastrukturu [fotografie autor]

4 Návrh vlastního řešení

- Zdokonalení monitoringu systému - online zobrazení naměřených teplot a dalších parametrů jednotlivých větví solárního i otopného okruhu a zobrazení aktuální energetické bilance
- Zvýšení výkonu solárního systému novým řídicím algoritmem založeným na dynamičtějším změnách pásem teplot využívajících řízení pomocí fuzzy logiky
- Zapojení vlivu předpovědi počasí
- Ekonomická a ekologická analýza solárního systému

5 Fuzzy logika

Pojem fuzzy logika se poprvé objevil v roce 1965 v článku, jehož autorem byl profesor Lotfi A. Zadeh. Ten definoval základní pojem fuzzy logiky a to fuzzy množinu. Slovo fuzzy se do českého jazyka překládá jako neostřý, matný, mlhavý, neurčitý. To odpovídá i tomu, čím se fuzzy teorie zabývá: snaží se pokrýt realitu v její nepřesnosti a neurčitosti [13].

V klasické teorii množin daný prvek buďto do množiny patří (tzv. úplné členství v množině) nebo nepatří (tzv. žádné členství v množině).

Fuzzy množina je taková množina, která kromě úplného nebo žádného členství připouští i členství částečné. To znamená, že prvek patří do množiny s jistou pravděpodobností (tzv. stupeň příslušnosti). Funkce, která každému prvku přiřadí stupeň příslušnosti, se nazývá funkce příslušnosti [13].

Příklad algoritmizace fuzzy logiky, automobil A1 jedoucí po dálnici za automobilem A2 [17]:

if (A2 brzdí) then (A1 brzdí)

if (v = malá) and (d = velká) then (F = malá),

if (v = velká) and (d = malá) then (F = velká),

if (v = malá) and (d = malá) then (F = střední),

if (v = velká) and (d = velká) then (F = střední).

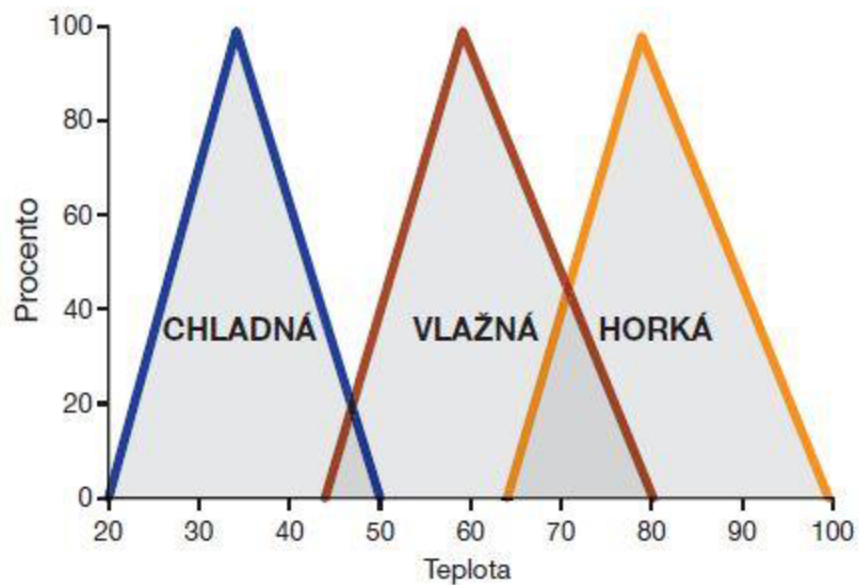
kde:

- v** rychlost automobilu A1
- d** vzdálenost mezi automobily
- F** brzdná síla

Řidič tedy ovládá dynamický systém, který je tvořen jeho automobilem. Vstupem do tohoto systému je rychlost automobilu **v**, brzdná síla **F** a výstupem je uražená dráha **d**.

Při svém řízení řidič patrně klasifikuje rychlost, vzdálenost i brzdící sílu ještě jemněji, třebaže stále vágními pojmy, jako např. velmi malý, malý, střední, velký, velmi velký apod. Přesto, že používá pro řízení svého dynamického systému - automobilu vágní údaje, řídí tento systém úspěšně.

Obdobný algoritmus lze zavést i při řízení teploty vody. Vstupem do systému jsou jednotlivé měřené teploty na určených místech solárního systému a výstupem ovládání jednotlivých čerpadel a elektroventilů v určených okruzích.



Obr. 5.1: Využití fuzzy logiky při ohřevu vody [14]

6 Implementace fuzzy řízení pro Arduino Mega

eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library) - Fuzzy Logic on Arduino [21]
(Převzato z [22]) Příklad kódu v C++ pro Arduino Studio:

```
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzySet.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>

// Step 1 - Instantiating an object library
Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  // Step 2 - Creating a FuzzyInput temperature
  FuzzyInput* temperature = new FuzzyInput(1); // With its ID in param

  // Creating the FuzzySet to compond FuzzyInput temperature
  FuzzySet* cold = new FuzzySet(0, 20, 20, 30); // Cold temperature
  temperature->addFuzzySet(cold); // Add FuzzySet cold to temperature
  FuzzySet* middle = new FuzzySet(30, 50, 50, 60); // Middle temperature
  temperature->addFuzzySet(middle); // Add FuzzySet middle to temperature
  FuzzySet* hot = new FuzzySet(60, 80, 80, 100); // Hot temperature
  temperature->addFuzzySet(hot); // Add FuzzySet hot to temperature

  fuzzy->addFuzzyInput(temperature); // Add FuzzyInput to Fuzzy object

  // Step 3 - Creating FuzzyOutput temperature
  FuzzyOutput* temperature = new FuzzyOutput(1); // With its ID in param

  // Creating FuzzySet to compond FuzzyOutput temperature
  FuzzySet* cold = new FuzzySet(0, 10, 10, 20); // Cold temperature
  temperature->addFuzzySet(cold); // Add FuzzySet cold to temperature
  FuzzySet* middle = new FuzzySet(20, 30, 30, 40); // Middle temperature
  temperature->addFuzzySet(middle); // Add FuzzySet middle to temperature
  FuzzySet* hot = new FuzzySet(40, 50, 50, 60); // Hot temperature
  temperature->addFuzzySet(hot); // Add FuzzySet hot to temperature

  fuzzy->addFuzzyOutput(temperature); // Add FuzzyOutput to Fuzzy object

  //Step 4 - Assembly the Fuzzy rules
  // FuzzyRule "IF temperature = samll THEN temperature = cold"
  FuzzyRuleAntecedent* ifTemperatureCold = new FuzzyRuleAntecedent(); //
Instantiating an Antecedent to expression
  ifTemperatureCold->joinSingle(cold); // Adding corresponding FuzzySet to
Antecedent object
  FuzzyRuleConsequent* thenTemperatureCold = new FuzzyRuleConsequent(); //
Instantiating a Consequent to expression
  thenTemperatureCold->addOutput(cold); // Adding corresponding FuzzySet to
Consequent object
  // Instantiating a FuzzyRule object
  FuzzyRule* fuzzyRule01 = new FuzzyRule(1, ifTemperatureCold,
thenTemperatureCold); // Passing the Antecedent and the Consequent of
expression
```

```

fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule01); // Adding FuzzyRule to Fuzzy object

// FuzzyRule "IF temperature = middle THEN temperature = normal"
FuzzyRuleAntecedent* ifTemperatureMiddle = new FuzzyRuleAntecedent(); //
Instantiating an Antecedent to expression
ifTemperatureMiddle->joinSingle(middle); // Adding corresponding FuzzySet
to Antecedent object
FuzzyRuleConsequent* thenTemperatureMiddle = new FuzzyRuleConsequent();
// Instantiating a Consequent to expression
thenTemperatureMiddle->addOutput(middle); // Adding corresponding
FuzzySet to Consequent object
// Instantiating a FuzzyRule object
FuzzyRule* fuzzyRule02 = new FuzzyRule(2, ifTemperatureMiddle,
thenTemperatureMiddle); // Passing the Antecedent and the Consequent of
expression

fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule02); // Adding FuzzyRule to Fuzzy object

// FuzzyRule "IF temperature = hot THEN temperature = hot"
FuzzyRuleAntecedent* ifTemperatureHot = new FuzzyRuleAntecedent(); //
Instantiating an Antecedent to expression
ifTemperatureHot->joinSingle(hot); // Adding corresponding FuzzySet to
Antecedent object
FuzzyRuleConsequent* thenTemperatureHot = new FuzzyRuleConsequent(); //
Instantiating a Consequent to expression
thenTemperatureHot->addOutput(hot); // Adding corresponding FuzzySet to
Consequent object
// Instantiating a FuzzyRule object
FuzzyRule* fuzzyRule03 = new FuzzyRule(3, ifTemperatureHot,
thenTemperatureHot); // Passing the Antecedent and the Consequent of
expression

fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule03); // Adding FuzzyRule to Fuzzy object
}

void loop(){
float dist = getTemperatureFromSolar();

// Step 5 - Report inputs value, passing its ID and value
fuzzy->setInput(1, dist);
// Step 6 - Exe the fuzzification
fuzzy->fuzzify();
// Step 7 - Exe the defuzzification for each output, passing its ID
float output = fuzzy->defuzzify(1);

setRobotSpeed(output);

delay(100);
}

```

7 Simulace fototermických procesů

7.1 Dostupný simulační software

Matematické modelování solárních soustav s využitím moderních simulačních nástrojů umožňuje poměrně přesné stanovení zisků pro předpokládané podmínky provozu a klimatické údaje. Počítačové simulace využívají matematické modely jednotlivých prvků definovaných parametry, které vycházejí z výsledků laboratorních zkoušek [23].

Mezi projektanty jsou nejvíce rozšířeny tyto produkty:

- Polysun (Vela Solaris)
- T*SOL (Valentin Software)
- GetSolar (Hottgenroth Software)
- TRNSYS (Thermal Energy System Specialists)

7.2 Výsledky simulace pomocí software Polysun

Location of the system

Breclav, Czech Republic

Longitude: 16.882°

Latitude: 48.753°

Elevation: 159 m

System overview (annual values)

Total fuel and/or electricity consumption of the system [E _{tot}]	2,312.9 kWh
Comfort demand	Energy demand covered

Overview solar thermal energy (annual values)

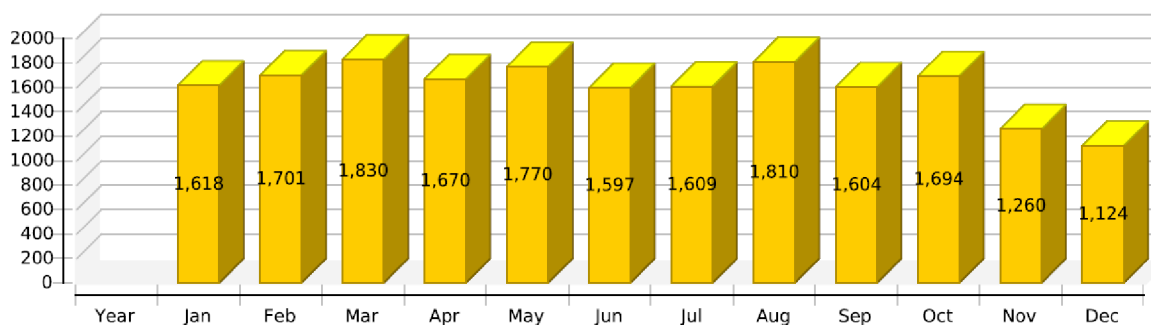
Collector area	80 m ²
Solar fraction total	91.4%
Total annual field yield	19,286.7 kWh
Max. reduction in CO ₂ emissions	4,962.9 kg

Component overview (annual values)

Boiler		Gas 20kW	
Power	kW		20
Total efficiency	%		78.2
Fuel and electricity consumption [Eaux]	kWh		2,309.5
Collector		Large surface collector (solar house)	
Total gross area	m ²		80
Tilt angle (hor.=0°, vert.=90°)	°		90
Orientation (E=+90°, S=0°, W=-90°)	°		0
Collector field yield [Qsol]	kWh		19,286.7
Irradiation onto collector area [Esol]	kWh		68,074
Hot water demand		Daily peaks	
Volume withdrawal/daily consumption	l/d		1,000
Temperature setting	°C		50
Energy demand [Qdem]	kWh		17,030.9

Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh



Obr. 7.1: Simulace solárních zisků [Polysun]

Simulace probíhala s využitím služby Polysun Online the free solar calculator from Vela Solaris, která nabízela největší uživatelský komfort, avšak oproti produktům, které využívají projektanti, má mnoho omezení. Podrobnější výsledky a simulace z doby přípravné studie (2001) viz přílohy.

8 Prediktivní regulace

V současnosti době je nejpoužívanějším principem regulace v budovách termostát či ekvitermní regulace, doplněny různými rozšířeními, jako je např. adaptivita, fuzzy logika nebo různé formy umělé inteligence [28].

Tyto způsoby regulace při své relativní jednoduchosti umožňují velmi dobré regulační výsledky a jsou obecně známé a dobře zavedené.

Prediktivní regulace (Model-based Predictive Control, MPC) se stává pro regulaci populární, protože dokáže vzít v úvahu tepelnou setrvačnost budovy, její akumulaci schopnost nebo například předpověď počasí. Prediktivní regulace je v principu velmi jednoduchá, ale její realizace skrývá řadu komplikací.

Zjednodušený popis (vstupně-výstupní model systému):

$$y = P(u, t, x_0) \quad (8.1)$$

kde:

P model systému

y výstupy systému

u vstupy systému

t čas

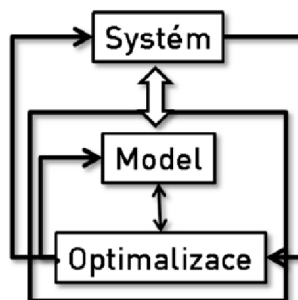
x₀ počáteční podmínky

Optimální řídicí posloupnost:

$$u_{optimal} = \arg \min_u J(u, t, x) \quad (8.2)$$

kde:

J vhodné kritérium optimality



Obr. 8.1: Princip prediktivní regulace [28]

Na základě systému (měření na budově) se odvodí jeho model, který je přednostně lineární a časově nezávislý. Pro složitější struktury modelů je časově náročné spočítat příslušné optimalizace i s využitím současné výpočetní techniky. Takový model se pak použije jako omezení pro optimalizaci, přičemž do optimalizace vstupují i další omezení, jako je omezení maximální teploty vody, maximální změny polohy ventilu apod., dále měřené výstupy systému, předpověď počasí a další. Optimalizačním kritériem bude minimalizace energie.

MPC je vícerozměrná regulace, kdy se počítá pouze jedna regulace pro celou budovu najednou a ne pro každý okruh zvlášť. Výstupem MPC je nastavení vstupních veličin systému (teplota vody, poloha regulačních ventilů). MPC se počítá pro určitý časový horizont predikce (např. pro jeden den dopředu), nevychází se pouze z aktuálních hodnot, regulátor predikuje chování systému.

Algoritmus regulace je možné shrnout do následujících kroků, které se neustále opakují [28]:

- Matematický model se použije pro predikci chování systému v blízké budoucnosti
- Na základě metod optimalizace se vypočte nastavení systému
- Proveďte se nastavení systému
- Změří se skutečný efekt regulačního zásahu na budovu a na základě případné odchylky dojde k aktualizaci modelu

Současný stav zavedení predikce na základě výhledu počasí do systému regulace ohřevu TUV na SPŠ Edvarda Beneše a OA Břeclav je ve fázi testování.

9 Ekonomická analýza solárního systému

9.1 Způsob financování

Pro financování solárního systému bylo využito státní podpory Ministerstva životního prostředí prostřednictvím Státního fondu životního prostředí. Tato podpora umožnila získání 70 % dotace a dále i případně dalších 20 % úvěru z celkové ceny solárního systému. Zbývající procenta z ceny systému zajistil investor v podobě finančního příspěvku hornorakouské vlády do celkové výše nákladů na solární systém.

Realizace solárního systému na SPŠ Břeclav byla příkladem vzájemného skloubení zahraniční spolupráce nejen v oblasti technické, ale i skloubení finančních podpor z různých institucí i států, zajišťujících úspěšnou realizaci prospěšných zařízení.

- Dotace Státního fondu životního prostředí: 1 571 000 Kč
- Příspěvek Úřadu vlády Dolního Rakouska: 350 000 ATS (813 400 Kč)
- Celkem: 2 384 400 Kč

9.2 Ekonomická efektivnost investic

(Převzato z [30]) Finanční kalkulačtor slouží jako velice jednoduchá pomůcka určená pro hodnocení ekonomické efektivnosti investic. I přes jeho jednoduchost dovede vypočítat většinu důležitých ekonomických kritérií investic, které umožní posouzení vhodnosti jejich realizace.

Je nutné zadat tyto vstupní parametry:

- Doba životnosti: 30 let (životnost solárního kolektoru)
- Investice: 2 384 400 Kč
- Úvěr: 0 Kč
- Roční výnos: 0 Kč (hodnotíme různé varianty, které nepřinášejí přímý zisk, ale výsledkem investice jsou nižší náklady, vyhodnocení tedy postavíme na nákladech)
- Roční náklady 1: 79 000 Kč (plyn, elektřina, 3 % roční změna nákladů)
- Roční náklady 1: 1000 (nutné opravy, 2 % roční změna nákladů)

Výsledky:

- NPV - čistá současná hodnota projektu: - 6 190 033 Kč
- Roční ekvivalentní finanční toky investice: 0 Kč
- Doba návratnosti: neexistuje

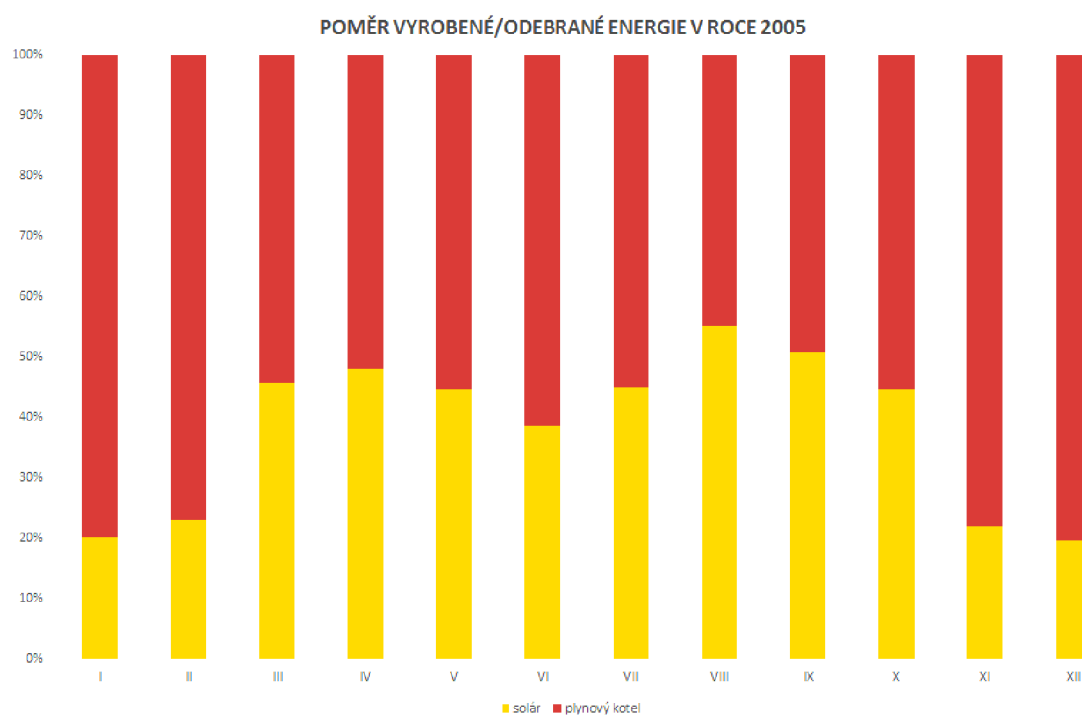
9.3 Zádávací studie a simulace

V zadávací studii byly uvažovány tři varianty solárního ohřevu a simulace na PC přinesla následující výsledky (vítězná varianta B). Další ekonomické údaje viz přílohy [25]:

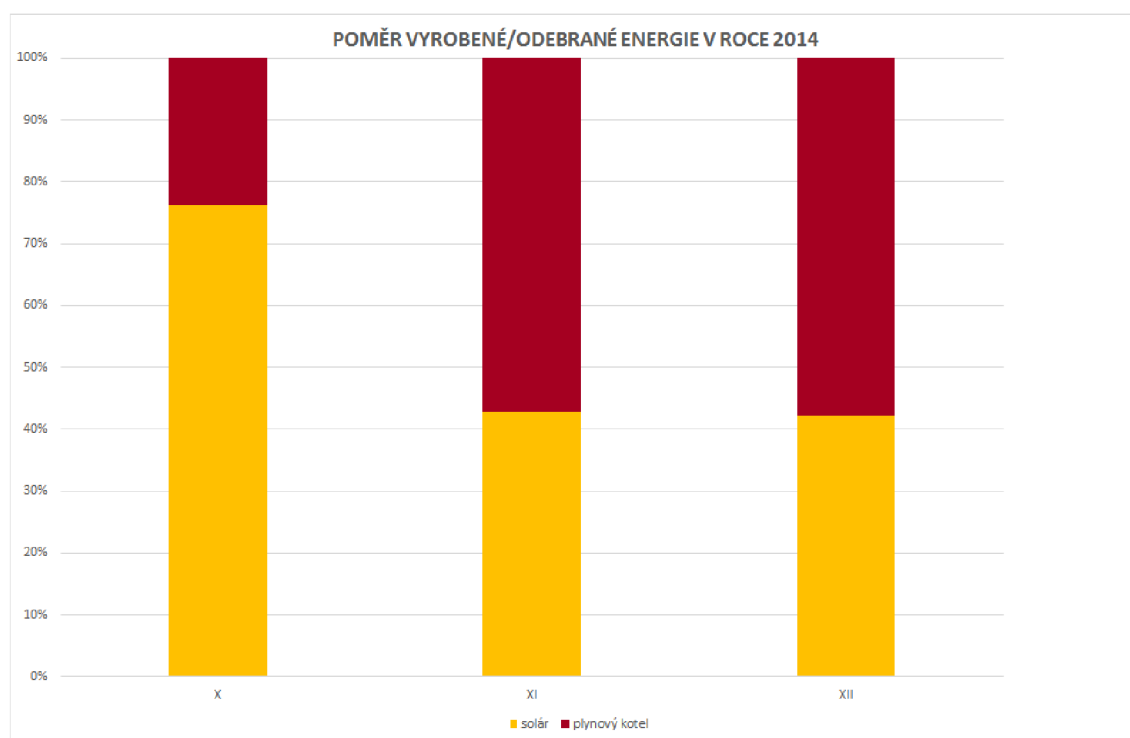
Tab. 9.1: Souhrn parametrů solárního systému v simulaci z roku 2001

	A	B	C
plocha kolektoru [m ²]	100	80	50
umístění kolektoru	fasáda	fasáda	střecha
objem zásobníku - jen solárního [l]	4000	4000	3000
teplota TUV [°C]	45	45	45
využití kolektoru [l/d.m ²]	35	45	70
záření dopadající na plochu kolektoru [kWh/rok]	90198	68975	57058
solární výtěžek [kWh/rok]	28275	23873	25017
spotřeba energie na přípravu TUV [kWh/rok]	42359	42359	42359
oběhové ztráty [kWh/rok]	5998	5870	6012
potřeba ohřevu: použité palivo [m ³ /rok]	2687	3336	3219
energie na dohřev [kWh/rok]	25526	31692	30580
specifický výtěžek kolektoru [kWh/m ³ .rok]	290	300	500
solární pokrytí spotřeby [%]	58	47	49
absolutní úspora paliva za rok [m ³ /rok]	4467	3699	3959
CO ₂ – úspora za rok [kg CO ₂ /rok]	8487	7028	7523
hrubý odhad nákladů [Kč]	1 840 000	1 472 000	1 150 000

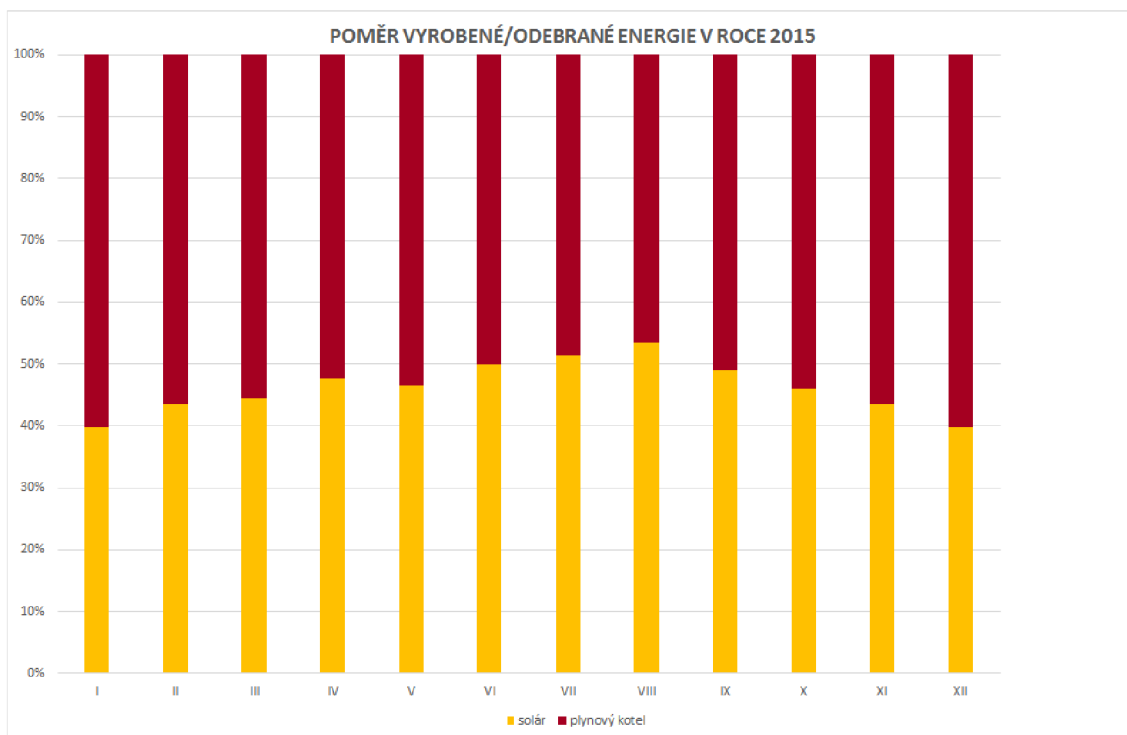
9.4 Grafická vyjádření vyrobené a odebrané energie



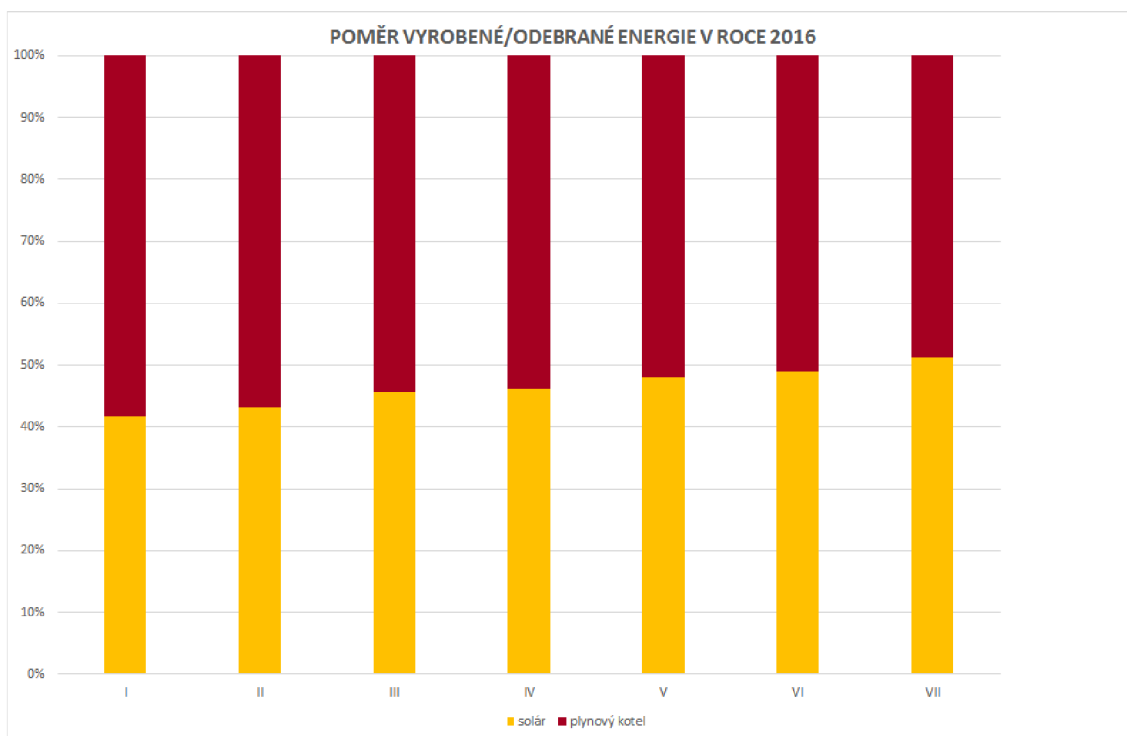
Graf č. 9.1: Poměr vyrobené a odebrané energie v roce 2005 (historická data)



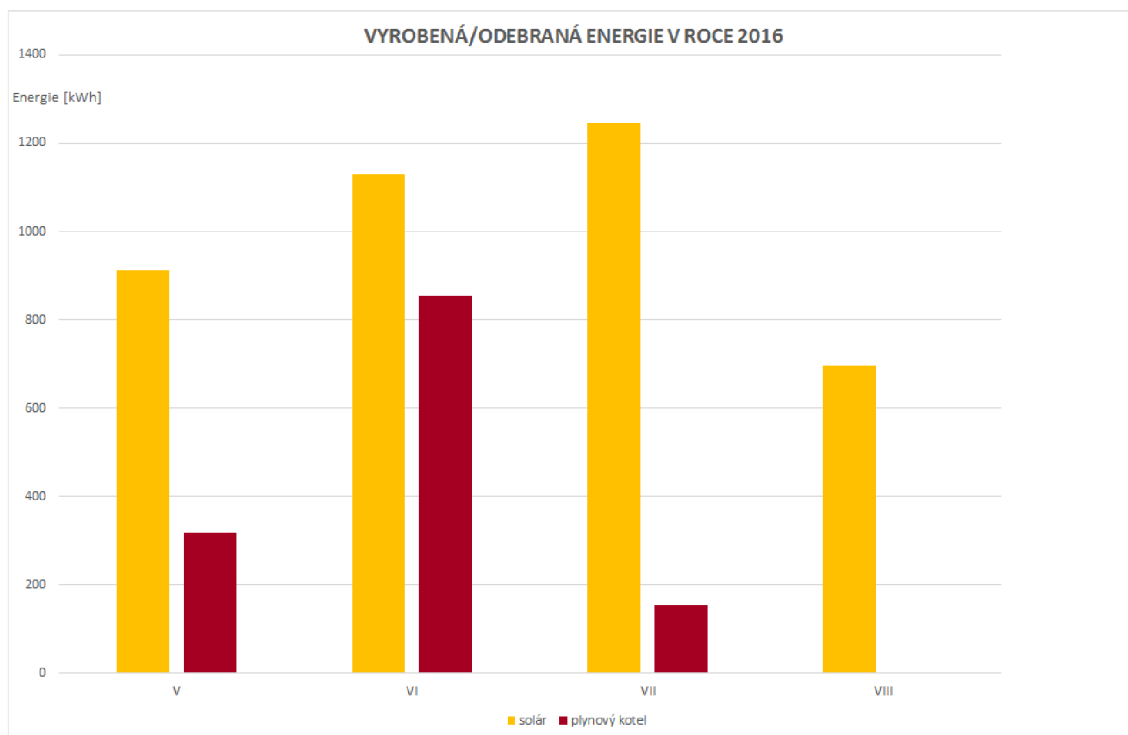
Graf č. 9.2: Poměr vyrobené a odebrané energie v roce v roce 2014



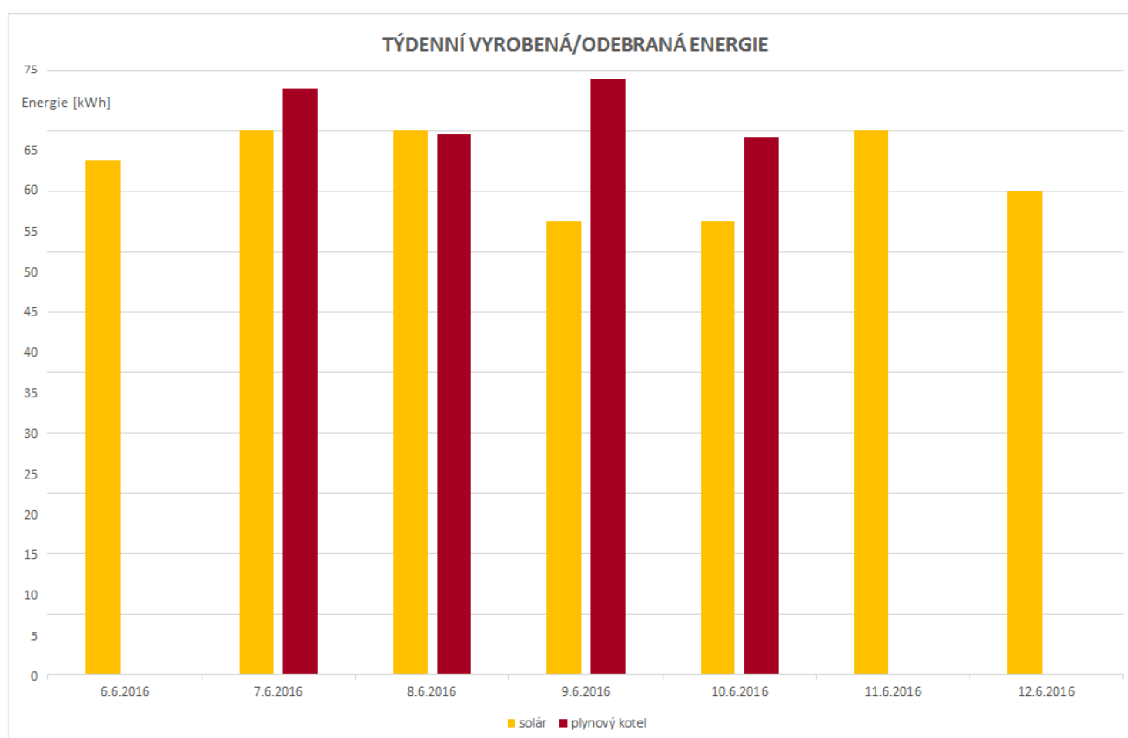
Graf č. 9.3: Poměr vyrobené a odebrané energie v roce 2015



Graf č. 9.4: Poměr vyrobené a odebrané energie v roce 2016



Graf č. 9.5: Vyrobená a odebraná energie v roce 2016



Graf č. 9.6: Vyrobená a odebraná energie týden

9.5 Vyhodnocení ekonomické analýzy

Pro ekonomickou analýzu solárního systému provozovaného na Střední průmyslové škole Edvarda Beneše v Břeclavi posloužila data z několika zdrojů. Hlavním zdrojem je aktuální databáze naměřených dat, spuštěná 18. 9. 2014. Z tohoto důvodu jsou v grafickém zpracování poměru vyrobené a odebrané energie pro rok 2014 pouze měsíce říjen, listopad a prosinec.

Podobně v roce 2016 jsou v grafickém zpracování vyrobené a odebrané energie v kWh pouze měsíce květen, červen, červenec a srpen, protože přímé měření a zapisování této energie bylo spuštěno 1. 5. 2016.

Z období před rokem 2014 se dochoval jen roční přehled energie pro rok 2005.

Z analýzy těchto dat lze konstatovat, že solární systém přispívá okolo 40 % výroby energie ze slunce v zimních měsících, kolem 50 % v měsících letních. Dále lze konstatovat, že je patrný trend ve vyrovnání poměru vyrobené a odebrané energie oproti roku 2005.

Srovnání údajů z obou simulací s reálnými ekonomickými údaji, které byly k dispozici, udává následující tabulka.

Tab. 9.2: Souhrn ekonomických údajů a porovnání se simulacemi

rok	spotřeba plynu [m ³]*	spotřeba energie [MWh] [29]	cena plynu [Kč/MWh] [28]	cena celkem [Kč]	podíl energie z plynového kotle [%]	úspora [Kč]
simulace 2001	3336	42,36	-	-	53	-
simulace 2016	2264	23,09	-	-	11	-
2014	6455	69,79	1338,62	93 424	56	73 405
2015	6416	69,37	1341,21	93 039	55	76 123
2016 (I-VII)	3754	40,59	1348,23	54 722	51	52 576

* údaje dle technicko-ekonomického úseku SPŠ Břeclav

10 Ekologická analýza solárního systému

10.1 Životnost solárních kolektorů

(převzato [26]) Životnost solárního kolektoru závisí na způsobu jeho provedení. Životnost kvalitního solárního kolektoru je 25 až 30 let. Obecně lze říci, že v oblasti běžných aplikací a kolektorů je životnost solárního kolektoru mnohem důležitější vlastností než jeho účinnost.

Životnost solárního kolektoru je dána odolností proti negativnímu působení extrémních stavů, které mohou nastat v provozu: vysoké teploty a tlaky, nárazy (krupobití), teplotní šoky. Odolnost vůči extrémním podmínkám se testuje zkouškami podle ČSN EN 12975-2. Zkoušky však nejsou povinné, avšak v různých certifikačních systémech (např. Solar Keymark) nebo dotačních systémech jsou základní podmínkou pro udělení certifikátu nebo finanční dotace na kolektor.

10.2 Recyklace materiálů používaných na výrobu kolektorů

Recyklace fotovoltaických panelů se stává zajímavým podnikatelským záměrem, způsobeným zejména jejich masovým rozšířením a potřebou jejich následné ekologické likvidace.

Panely fototermické takové problémy nemají, což je dáno jejich materiálovým složením. Jsou to povětšinou materiály dobře recyklovatelné, kovy jako ocel, hliník či měď. Podobně dobře recyklovatelné je sklo a další materiály použité při výrobě kolektorů. Ani izolační hmoty nepředstavují velký problém při jejich recyklaci.

10.3 Analýza kolektoru Ekostart DOMA

Absorbér se skládá ze speciálně tvarovaného hliníkového profilu, do něhož je vlisována měděná trubička o průměru 10x0,8 mm, dále z integrovaného sběrného potrubí o průměru 22x1 mm, absorbér je tlakově zkoušen, povrch je chráněn elektrickým nánosem M40Li, zadní stěna kolektoru je provedena z OSB desek, dřevěný rám je z dřevěných profilů o rozměrech 45x80 mm, izolace provedena z 40 mm minerální vlny, zasklení solárním sklem ESG tloušťky 4 mm s tepelným testem (Heat-Soak-Test), hliníkové krycí lišty provedeny se systémovým těsněním EPDM, na dvou stranách kolektoru je výstup sběrného potrubí pro instalaci a montáž [27].

Technická data:

Doporučený pracovní přetlak: 100 - 400 kPa

Účinnost: 79,2 %

Maximální dovolený přetlak: 1 MPa

Maximální klidová teplota: 150 °C

Specifický průtok: 12,5 - 80 l/hm

Tlaková ztráta (70 l/hod): 1500 Pa (voda/glykol 33%)

Rozměry kolektorového pole: 2x5,435 m (plocha 10,87 m²)

Použité materiály a jejich vliv na životní prostředí:

- Hliník - jeho výroba je energeticky a materiálově náročná, vzniká při ní toxický odpad
- Měď - v nadměrném množství je vysoce toxická pro vodní organizmy
- M40Li (nátěr) - rozpouštědla
- OSB dřevotříska - nebezpečná pojiva
- Dřevo - přírodní materiál, problémem je chemické ošetření
- Minerální vlna - při výrobě se používají fenolformaldehydové pryskyřice
- Sklo – při výrobě se používají těžké kovy
- EPDM (pryž) - při výrobě se používají nebezpečné chemické látky

Detailní analýza tohoto solárního kolektoru by vyžadovala komplexnější údaje od výrobce, např. údaje o jeho odpadovém hospodářství, emisních poměrech a dalších aspektech při výrobě.

10.4 Legislativní podpora

Postupem času vzniklo několik směrnic, nařízení a zákonů pro nakládání s hojně používanými a nebezpečnými látkami a týkající se již konkrétních produktů a zařízení. Mezi nejznámější patří:

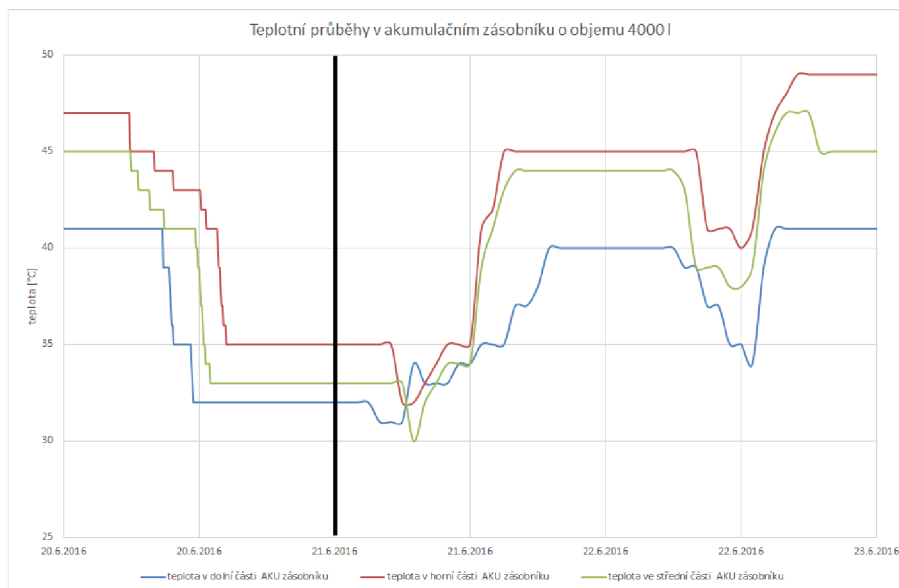
REACH - zkratka pochází z anglického "The Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals" a do češtiny se překládá jako "registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek. REACH vstoupil v platnost 1. června 2007 na základě nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 z 18. prosince 2006 a týká se látek vyráběných v EU nebo do ní dovážených v množství větším než 1 tuna ročně, které musí být během 11 let postupně registrovány. Nahradil několik desítek starých právních předpisů, a proto se o něm někdy mluví jako o jedné z nejsložitějších směrnic Evropské unie. V současnosti platí oprava textu nařízení z 29. května 2007. Za registraci látek budou zodpovědní jejich výrobci a dovozci. Evaluaci

bude provádět Evropská agentura pro chemické látky. Agentura provede konečné posouzení látky, ale autorizaci vydá Evropská komise [31].

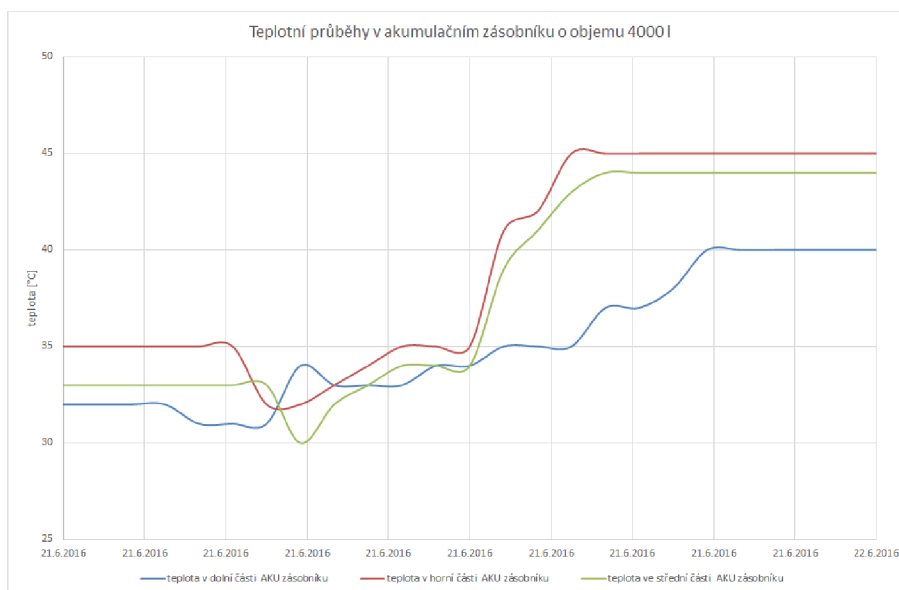
RoHS - je zkratka, vycházející ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011, o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. Zkratka vychází z anglického názvu této Směrnice, tj. „Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment“. Cílem je omezit používání šesti ve směrnici označených látek při výrobě elektrického a elektronického zařízení, které se ve velkých množstvích dostává na skládky, a tím přispět k ochraně lidského zdraví a životního prostředí. Omezení se proto netýká průmyslových, telekomunikačních, zdravotnických, vědeckých atd. zařízení s dlouhou životností, která se vyrábějí v malých množstvích a u nichž lze předpokládat, že neskončí na skládce [32].

WEEE - Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) v angličtině „The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive“ byla přijata 27. ledna 2003 společně se směrnicí o omezení užívání některých nebezpečných látek v elektronických a elektrických zařízeních (RoHS) [33].

11 Vyhodnocení naměřených dat



Graf č. 11.1: Srovnání teplotních průběhů akumulčního zásobníku před a po uskutečnění optimalizace řízení



Graf č. 11.2: Detail srovnání teplotních průběhů akumulčního zásobníku před a po uskutečnění optimalizace řízení

Porovnáním teplotních průběhů před a po uskutečnění optimalizace se očekávaná změna teplotního profilu projevila nevýrazně. Byl očekáván daleko hladší průběh teplotních křivek po optimalizaci, zejména s přispěním fuzzy logiky. Řešením by mohla být změna parametrů fuzzy množin v řídicím algoritmu.

12 Závěr

Cílem diplomové práce bylo seznámit se s problematikou solárně tepelných systémů určených k ohřevu teplé užitkové vody při reálném provozu školní jídelny. V rámci diplomové práce byly vysvětleny pojmy z oblasti fototermických systémů, byl věnován prostor využití solární energie, orientaci solárních kolektorů a popisu soustav se solárními kolektory. Byla popsána funkce a konstrukce takových kolektorů.

Dále se práce zabývala popisem stavu solárního systému na Střední průmyslové škole Edvarda Beneše a Obchodní akademii Břeclav, příspěvkové organizaci, na kterém probíhá optimalizace tohoto systému za účelem zvýšení jeho výkonu.

Jádrem optimalizace je nový řídicí algoritmus založený na dynamičtějších změnách pásem teplot využívajících fuzzy logiku, aktuální a výhledově i budoucí stav počasí. Dalším významným výstupem je například zdokonalení monitoringu aktuálních teplot a dalších parametrů v solárním i ohřevném okruhu a jejich online prezentace.

Nemalým přínosem diplomové práce pak je stále rostoucí a aktuální databáze naměřených údajů jednotlivých čidel teplot a dalších parametrů systému, která by se mohla sama stát základem další diplomové práce, například pro různé druhy matematických analýz a modelování.

Zdroje informací

- [1] Fotovoltaika v podmínkách České republiky: Sluneční záření [online]. České Budějovice: ISOFEN ENERGY s.r.o. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [2] Free Download of Solar Radiation Maps: Global Horizontal Irradiation [online]. Bratislava: SolarGIS, 2015 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI#C>
- [3] Jak umístit solární panely na střechu? WATT projekt s.r.o. [online]. Plzeň: WATT projekt s.r.o. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.wattprojekt.cz/jak-umistit-solarni-panely-na-strechu>
- [4] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. Stavitel. ISBN 80-247-0362-9.
- [5] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. TZB-info [online]. : 1 [cit. 2015-12-16]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [6] Obnovitelné zdroje energie [online]. In: . České Budějovice: Pedagogická fakulta JU v Českých Budějovicích, 2009, s. 1 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: https://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/bi/vs_poster_energie.pdf
- [7] Obnovitelné zdroje energie. Břeclav: Střední průmyslová škola Edvarda Beneše Břeclav, 2003.
- [8] Přednáška o možnostech využití sluneční energie [online]. České Budějovice: Calla, 2003, s. 11 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.calla.cz/cdcalla/html/fole/11.html>
- [9] Slovník pojmů a odborných výrazů [online]. Praha: Solarinvest.cz [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://solarinvest.cz/slovník-pojmu-a-odbornych-vyrazu/>
- [10] Solární ohřev vody SPŠ Břeclav. Spsbv.cz [online]. Břeclav: SPŠ Edvarda Beneše, Břeclav, 2014 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://solar.spsbv.cz/osystemu/>
- [11] Solární systém pro ohřev teplé vody. Solar24.cz [online]. Praha, 2012 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://solar24.cz/>
- [12] ŠOUREK, Bořivoj. Přímé využití sluneční energie – systémy využívající fototerální kapalinové kolektory II Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6539-prime-vyuziti-slunecni-energie-systemy-vyuzivajici-fotothermalni-kapalinove-kolektory-ii>. TZB-info [online]. 2010, : 1 [cit. 2015-12-16]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6539-prime-vyuziti-slunecni-energie-systemy-vyuzivajici-fotothermalni-kapalinove-kolektory-ii>
- [13] Základy fuzzy logiky. Nawebka [online]. Rydval, 2010 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cislocianku=2005061701>
- [14] Fuzzy logika. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco [CA]: Wikimedia Foundation, 2015, 29-12-2015 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logika
- [15] Význam slova optimalizace. Slovník cizích slov [online]. Brno: Best One Service s.r.o., 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.slovník-cizich-slov.cz/optimalizace.html>
- [16] OPTIMALIZACE V ELEKTROTECHNICE: Zbyněk Raida. Urel.feec.vutbr.cz [online]. Brno: VUT Brno [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/optimalizace/pojmy/pojmy_a.htm
- [17] JURA, Pavel. Fuzzy logika v modelování a řízení dynamických systémů: současný stav, perspektivy a výuka = Fuzzy logic in modelling and control of dynamic systems : state of the art, perspective and education : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Technická kybernetika. Brno: VUTIUM, 2005. ISBN 80-214-3019-2.

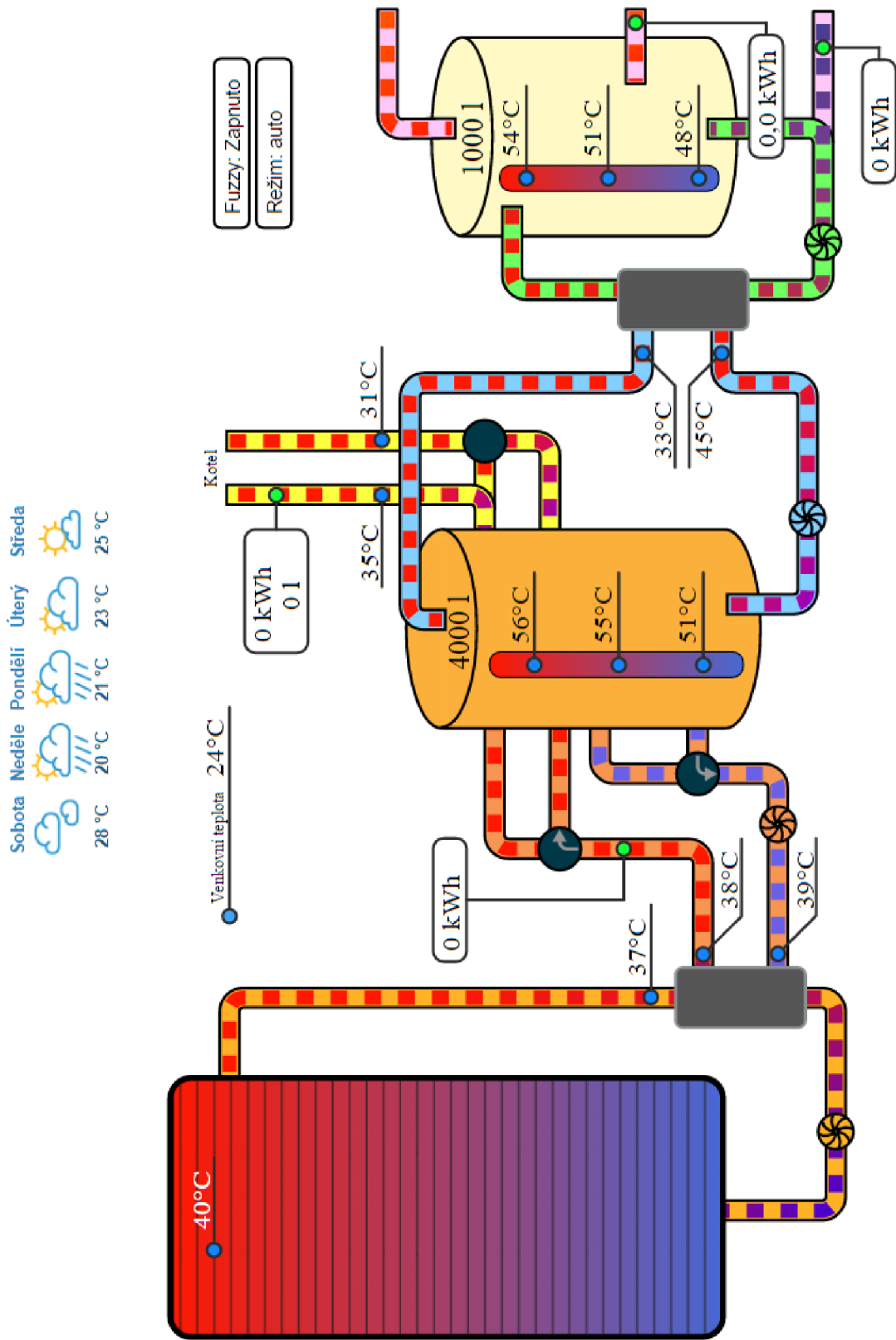
- [18] Využití energie Slunce. Ballbrno.cz [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.ballbrno.cz/solarni-kolektory>
- [19] MATUŠKA, Tomáš. Zásobníky tepla s řízeným teplotním vrstvením. Tzb-info [online]. [cit. 2016-05-23]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/156-zasobniky-tepla-s-rozenym-teplotnim-vrstvenim-stratifikaci>
- [20] MATUŠKA, Tomáš. Parametry solárních kolektorů. Tzb-info [online]. [cit. 2016-05-24]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/155-parametry-solarnich-kolektoru#vykon-a-ucinnost>
- [21] Embedded Fuzzy Logic Library. Forum.arduino.cc [online]. 2015 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=124827.0>
- [22] EFL - A Fuzzy Library for Arduino and Embedded Systems. Zerokol.com [online]. 2012 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.zerokol.com/2012/09/arduino-fuzzy-fuzzy-library-for-arduino.html>
- [23] MATUŠKA, Tomáš. Simulační nástroje pro hodnocení solárních soustav. Tzb-info [online]. [cit. 2016-05-24]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/152-simulacni-nastroje-pro-hodnoceni-solarnich-soustav>
- [24] LUKÁŠ, Ferkl. Prediktivní regulace pro budovy. IV. symposium Integrované navrhování a hodnocení budov [online]. Praha, 2013, , 70-72 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: www.stpcr.cz/?download=_/sborinhob2013/29_ferkl.pdf
- [25] BERGER, Michael. Přípravná studie: Možnosti solárního ohřevu vody ve SPŠ Edvarda Beneše, Brno. 1. Vídeň, 2001.
- [26] Jaká je životnost solárního kolektoru. Solarnispolecnost.cz [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.solarnispolecnost.cz/cz/21.jaka-je-zivotnost-solarniho-kolektoru>
- [27] EKOSOLARIS A.S. Solární systémy ekosolaris projekční a montážní návody [online]. 2006, , 102 [cit. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.spsstavvm.cz/cs/distancni-studium/pro-studujici/studijni-materialy-dis/ing-poboril2/a1-rocnik-pra/pr-pob-tutorial-c-2/_files/ekosolaris.pdf
- [28] Přehled cen zemního plynu. Tzb-info [online]. [cit. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [29] WOFF, Petr. Současná cena kubíku (m³) a kWh zemního plynu. Cenyenergie.cz [online]. 2015 [cit. 2016-08-20]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/soucasna-cena-kubiku-m3-a-kwh-zemniho-plynu>
- [30] CHADIM, Tomáš. Ekonomická efektivnost investic [online]. 2005 [cit. 2016-08-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2770-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-i>
- [31] REACH. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2016-08-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/REACH>
- [32] RoHS. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2016-08-21]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RoHS>
- [33] Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2016-08-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Smernice_o_odpadnich_elektrickych_a_elektronickych_zarizenich

SEZNAM VELIČIN, SYMBOLŮ A ZKRATEK

TUV	teplá užitková voda
E	sluneční záření
τ	součinitel transmise transparentního krytu
α	součinitel absorpce absorbérů
k	součinitel měrné tepelné ztráty kolektoru
ν_m	střední teplota absorbérů
ν_L	teplota v okolí kolektoru
Q_A	tepelný výkon absorbérů
Q_V	tepelná ztráta absorbérů
Q_N	užitečný tepelný výkon
M	hmotnostní průtok teplonosné kapaliny kolektorem
c	měrná tepelná kapacita teplonosné kapaliny
ν_1	teplota na vstupu do solárního kolektoru
ν_2	teplota na výstupu ze solárního kolektoru
Q_k	tepelný výkon kolektoru
E	sluneční záření
A_k	vztažná plocha kolektoru
η	účinnost solárního kolektoru
η_0	účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu
ν_m	střední teplota teplonosné kapaliny
ν_e	teplota okolí
a₁	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a₂	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
P	model systému
y	výstupy systému
u	vstupy systému
t	čas
x₀	počáteční podmínky
J	vhodné kritérium optimality

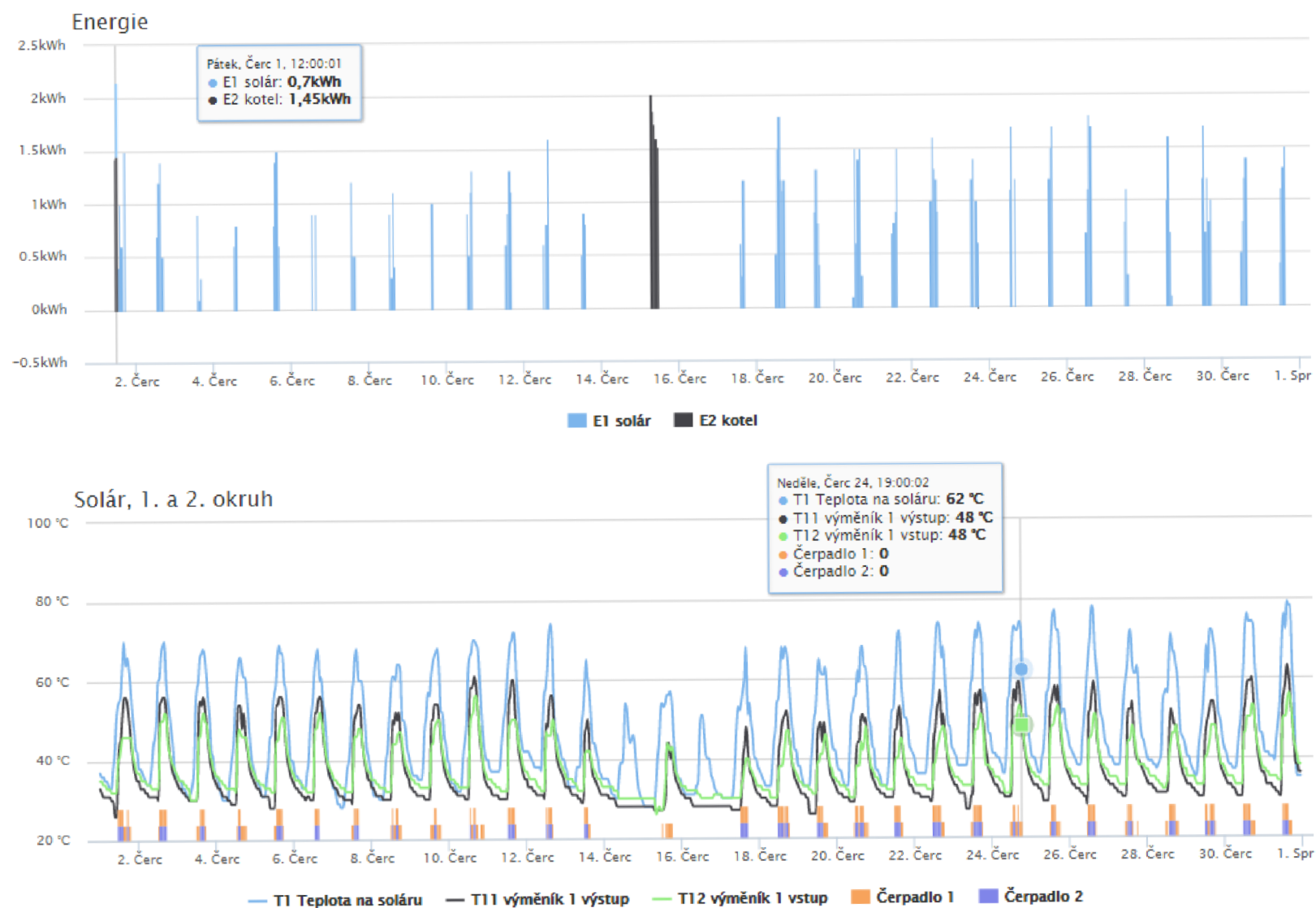
SEZNAM PŘÍLOH

Obr. I.I – Současné webové rozhraní monitoringu [10].....	62
Obr. I.II – Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 1 [10]	63
Obr. I.III – Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 2 [10].....	64
Obr. II.I – Historická data z přípravné studie 1 [25].....	65
Obr. II.II – Historická data z přípravné studie 2 [25].....	66
Obr. II.III – Historická data z přípravné studie 3 [25]	67
Obr. III.I – Aktuální simulace 1 [Polysun].....	68
Obr. III.II – Aktuální simulace 2 [Polysun]	69

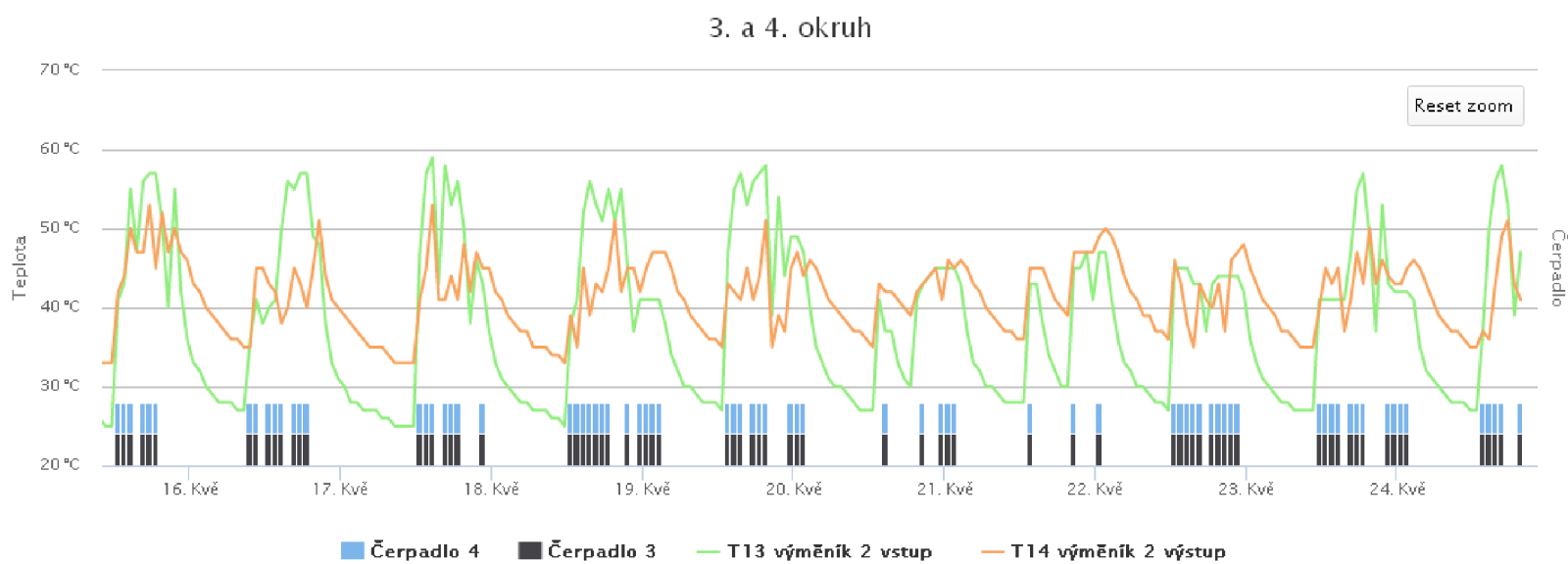
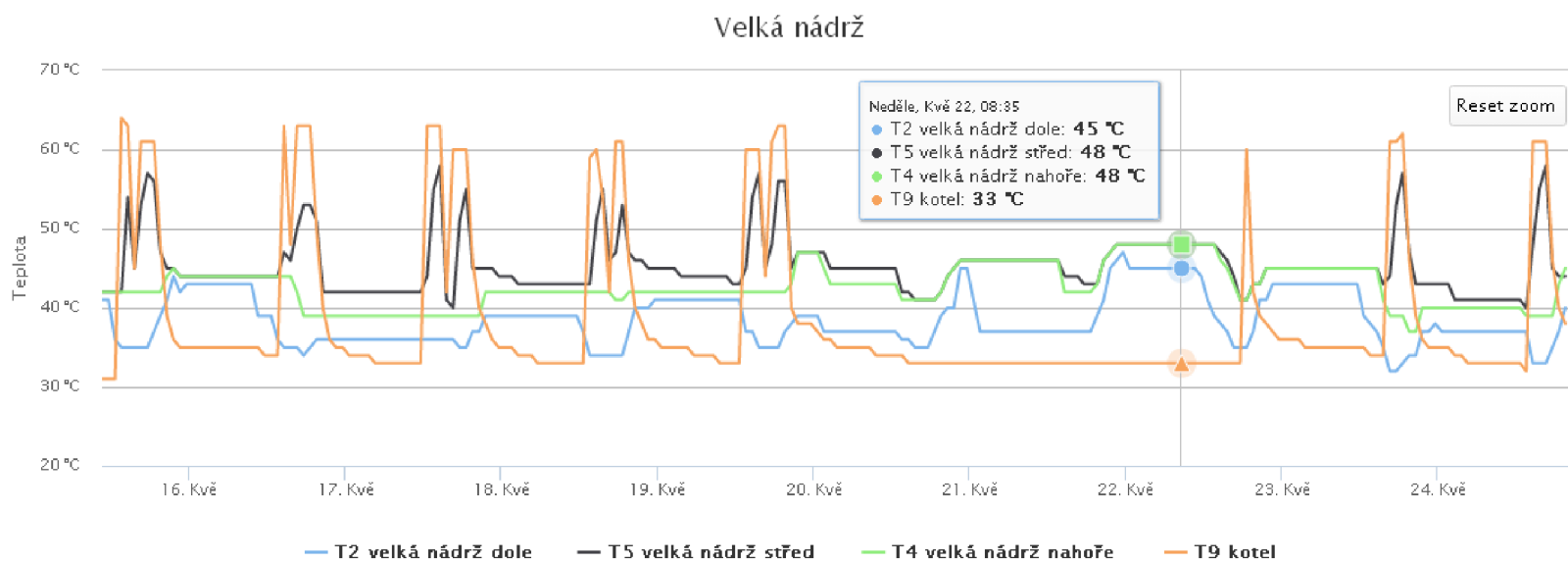


Obr. I.I : Současné webové rozhraní monitoringu [10]

Obr. III: Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 1 [10]



Obr. 1.III.: Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 2 [10]



Výsledky měření

Warmwasser - Verbrauchsmessung Jugendheim
30.1. - 26.2. 2001
**Střední průmyslová škola Edvarda Beneše,
Břeclav**
Quelle: Schreiben Mgr. Ivan Čech vom 26.2.2001

Tag	Datum	Zeit	Zählerstand	Differenz
			m ³	m ³
Di	30.01.2001	14.30	2307,64	
Mi	31.01.2001	16.30	2318,98	11,34
Do	01.02.2001	14.30	2328,57	9,59
Fr	02.02.2001	14.30	2333,56	4,99
Sa	03.02.2001	14.30	2342,28	8,72
So	04.02.2001	14.30	2344,76	2,48
Mo	05.02.2001	14.30	2349,27	4,51
Di	06.02.2001	14.30	2357,16	7,89
Mi	07.02.2001	14.30	2369,85	12,69
Do	08.02.2001	14.30	2373,88	4,03
Fr	09.02.2001	14.30	2380,23	6,35
Sa	10.02.2001	14.30	2381,95	1,72
So	11.02.2001	14.30	2383,83	1,88
Mo	12.02.2001	14.30	2386,56	2,73
Di	13.02.2001	14.30	2393,95	7,39
Mi	14.02.2001	14.30	2400,59	6,64
Do	15.02.2001	14.30	2405,46	4,87
Fr	16.02.2001	14.30	2413,54	8,08
Sa	17.02.2001	14.30	2414,39	0,85
So	18.02.2001	14.30	2415,91	1,52
Mo	19.02.2001	14.30	2416,46	0,55
Di	20.02.2001	14.30	2417,23	0,77
Mi	21.02.2001	14.30	2418,56	1,33
Do	22.02.2001	14.30	2419,5	0,94
Fr	23.02.2001	14.30	2421,41	1,91
Sa	24.02.2001	14.30	2422,94	1,53
So	25.02.2001	14.30	2424,37	1,43
Mo	26.02.2001	14.30	2429,18	4,81
Summe				121,54
Schnitt				4,50

Tabelle 1: Ergebnis der Verbrauchsmessung

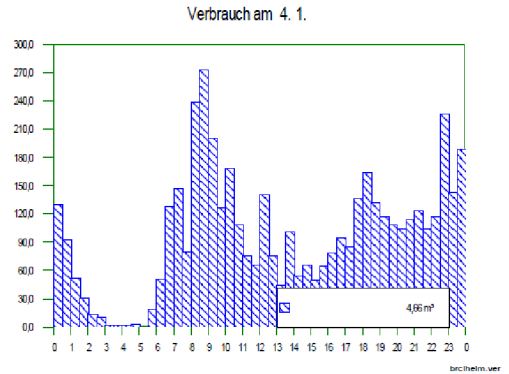


Bild 3: Warmwasserverbrauch Norm – Tagesprofil eines Studentenheimes (Quelle: TSOL 3.2)

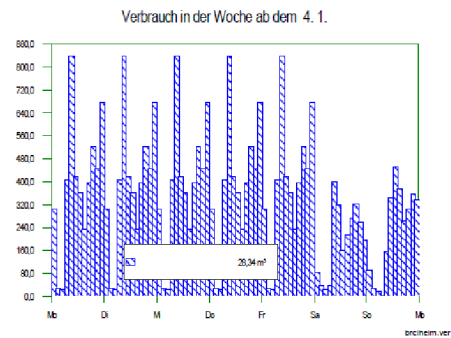
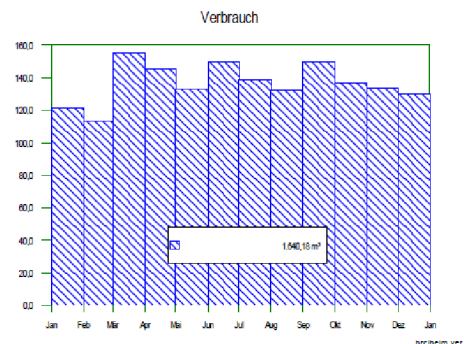
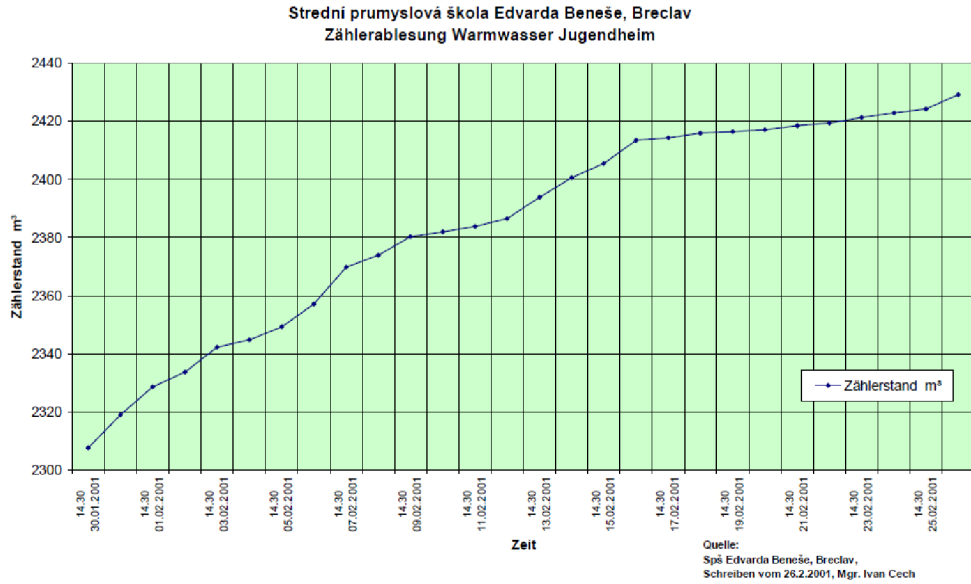


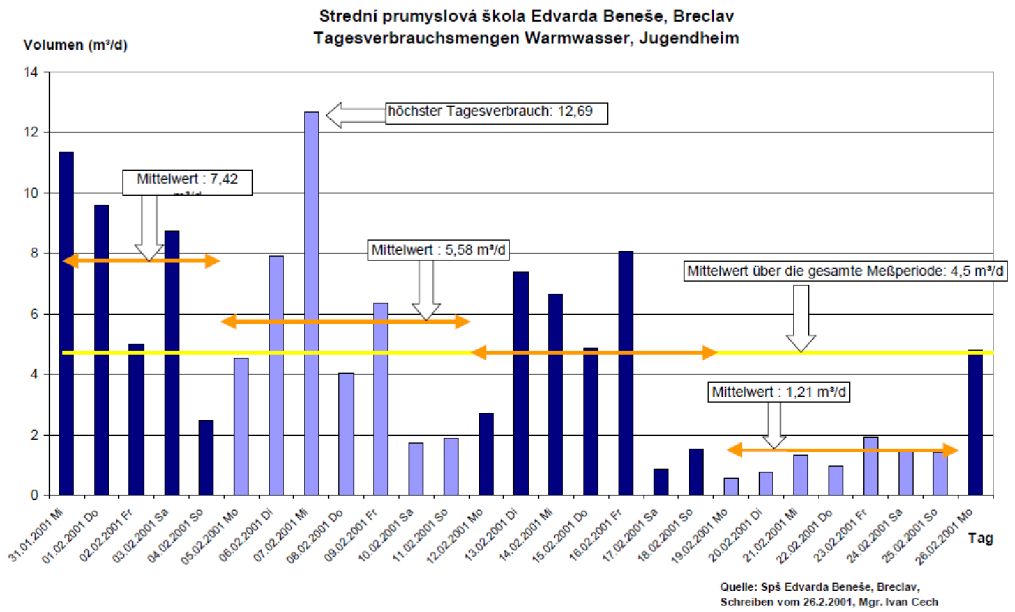
Bild 4: Warmwasserverbrauch Norm – Wochenprofil eines Studentenheimes (Quelle: TSOL 3.2)

Bild 5: Jahresprofil für den Warmwasserverbrauch im Jugendheim, entwickelt aus den Messwerten und den Angaben des Haustechnikers





Obrázek 6: Odečtené hodnoty 30.1. – 26.2. 2001



Obrázek 7: denní spotřeba teplé vody

AEE - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE NÖ.Wien
Bahngasse 46, A - 2700 Wr. Neustadt, <http://www.aee.at>

Obr. II.II: Historická data z přípravné studie 2 [25]

Potřeba teplé vody

V rozvodu teplé vody pro kuchyni se nenachází žádný vodoměr, a tudíž nelze spotřebu teplé vody jednoduchým způsobem určit. Odhad byl proto stanoven na základě údajů o používání kuchyně a podle hodnot z literatury.

Na základě informací školy získaných při obhlídce dne 30.1.2001 je struktura spotřeby následující:

počet obědů v běžném provozu:	800
počet snídaní a večeří v běžném provozu:	80
počet jídel v letním (turistickém) provozu:	300
průměrná spotřeba vody na jeden oběd v litrech při 60°C (podle: „Sonne für Hotels“, AEE 1999):	6
průměrná spotřeba vody na snídaní v litrech při 60°C:	2
průměrná spotřeba vody na večeří v litrech při 60°C:	3
redukce na víkendový pokles (odhad):	
	sobota 50%
	neděle 90%
celková průměrná spotřeba v běžném provozu:	5.200 l/d
celková průměrná spotřeba v letním provozu:	3.300 l/d
výchozí hodnota pro návrh velikosti zařízení	3.500 l/d
minimální kolektorová plocha termosolárního zařízení s optimální orientací kolektoru ($a = 70 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$)	50 m^2
maximální velikost kolektorové plochy ($a = 30 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$)	100 m^2

Verbrauch in der Woche ab dem 4. 1.

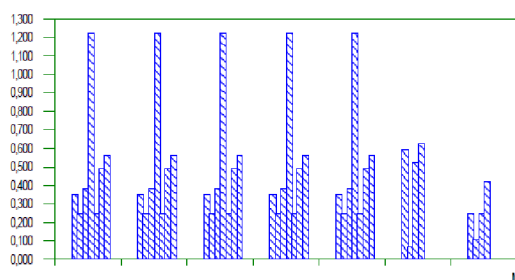


Bild 14: Wochenprofil auf Basis der Erhebungen

Verbrauch

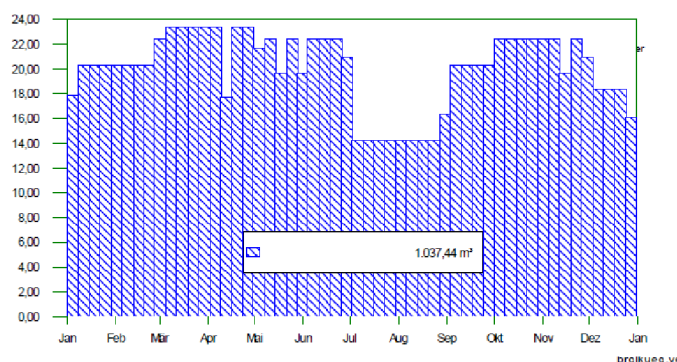


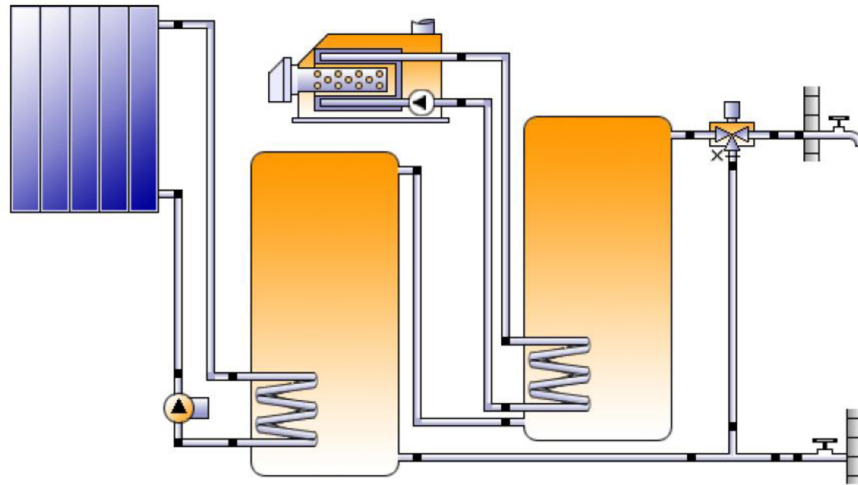
Bild 15: Jahresprofil für den Warmwasserverbrauch im Küchentrakt, entwickelt aus den Angaben des Haustechniklers

Summary report

polysun
online®

My project

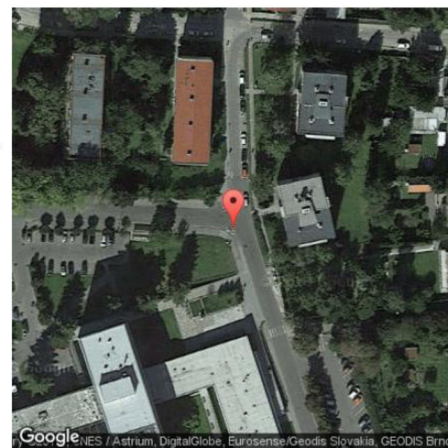
Standard solar residential 2 tank system



Location of the system

Breclav, Czech Republic
Longitude: 16.882°
Latitude: 48.753°
Elevation: 159 m

Map section



This report has been created by:

Tester Testerkin

System overview (annual values)

Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]	2,312.9 kWh
Comfort demand	Energy demand covered

1 / 3

V8.2.6.22692 / 03.05.2016 / 06:53:38

polysun®

Nor Vela Solaris, its distribution partners nor the SPF are liable for the correctness of the results and the provided data. This report is not suited for the application of incentive schemes. For this purpose, please use the installed version Polysun Professional or Polysun Designer. Polysun Online is based on the same calculation core as Polysun Professional and Designer and offers the same precision, but is less flexible in the definition of the system.

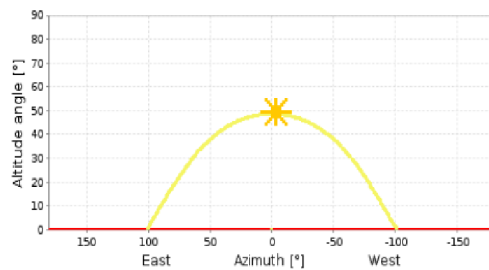
Obr. III.I: Aktuální simulace 1 [Polysun]

Summary report

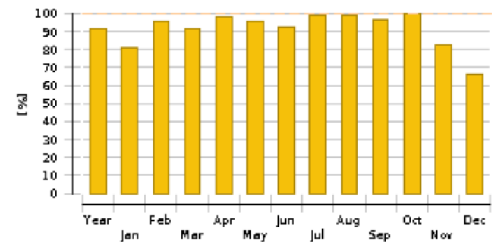
Overview solar thermal energy (annual values)

Collector area	80 m ²
Solar fraction total	91.4%
Total annual field yield	19,286.7 kWh
Max. reduction in CO2 emissions	4,962.9 kg

Horizon line



Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]



Component overview (annual values)

Boiler		Gas 20kW	
Power	kW		20
Total efficiency	%		78.2
Fuel and electricity consumption [Eaux]	kWh		2,309.5
Collector		Large surface collector (solar house)	
Total gross area	m ²		80
Tilt angle (hor.=0°, vert.=90°)	°		90
Orientation (E=+90°, S=0°, W=-90°)	°		0
Collector field yield [Qsol]	kWh		19,286.7
Irradiation onto collector area [Esol]	kWh		68,074
Hot water demand		Daily peaks	
Volume withdrawal/daily consumption	l/d		1,000
Temperature setting	°C		50
Energy demand [Qdem]	kWh		17,030.9