

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. Provedte též ekonomickou a ekologickou analýzu tohoto solárního systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 26.5.2016

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

Konzultant diplomové práce: Ing. Josef Spěvák, Ph.D.,

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.

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' 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. 56 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji 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 26. 5. 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 Kraincingerovi za jeho pomoc zejména při programování jednočipových mikropočítačů.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ:	10
ÚVOD	11
1. Solární fototermické systémy	12
1.1 Využití sluneční energie	12
1.2 Solární energie	12
1.3 Nabídka záření ze Slunce	14
1.4 Orientace solárních kolektorů ke Slunci	16
2. Technické využití solární energie	17
2.1 Solární kolektory	17
2.2 Sestava zařízení se solárními kolektory	18
2.3 Možnosti použití	19
2.4 Ohřev vody v bazénech	19
2.5 Solární ohřev TUV	20
2.6 Částečné solární vytápění	21
2.7 Funkce a konstrukce solárního kolektoru	22
2.8 Tepelné ztráty solárních kolektorů	22
2.9 Účinnost kolektorů	25
2.10 Křivky účinnosti kolektorů	26
2.11 Tepelné výměníky	27
2.12 Tepelné zisky kolektorů	28
2.13 Materiálové vlastnosti stavby kolektorů	30
2.14 Fasádní kolektory	32
2.15 Řazení a propojení kolektorů	33
2.16 Konstrukce vodních zásobníků	34
2.17 Teplonosná média	35
2.18 Způsoby provozu solárních soustav	35
2.19 Regulace a další komponenty solárních systémů	36
3. Popis stavu solárního systému před optimalizací	37
3.1 Solární zařízení na ohřev TUV na SPŠ Edvarda Beneše a OA Břeclav	37
3.2 Stav řízení a regulace před optimalizací	38
4. Návrh vlastního řešení	42
5. Fuzzy logika	42

6. Implementace fuzzy řízení pro Arduino Mega	44
7. Simulace fototermických procesů	46
7.1 Dostupný simulační software	46
7.2 Výsledky simulace pomocí software Polysun	46
8. Prediktivní regulace.....	48
9. Ekonomická analýza solárního systému	50
10. Ekologická analýza solárního systému.....	51
10.1 Životnost solárních kolektorů.....	51
10.2 Recyklace materiálů používaných na výrobu kolektorů.....	51
11. Vyhodnocení naměřených dat.....	52
12. Závěr	53
13. Zdroje informací.....	54
14. SEZNAM PŘÍLOH	56

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1 – Energie obsažená ve slunečním záření [6]	11
Obr. 2 – Rozdělení využití sluneční energie [7]	12
Obr. 3 – Rozdělení slunečního záření [8]	13
Obr. 4 – Délka slunečního svitu za rok v ČR [1]	14
Obr. 5 – Globální horizontální záření v Evropě [2]	15
Obr. 6 – Globální horizontální záření v ČR [2]	15
Obr. 7 – Vliv sklonu kolektoru na solární zisk [7]	16
Obr. 8 – Diagram vlivu orientace panelu na solární zisk [3]	17
Obr. 9 – Rozdělení solárních kolektorů [5]	17
Obr. 10 – Schéma solárního systému [7]	18
Obr. 11 – Schéma ohřevu bazénové vody [7]	20
Obr. 12 – Schéma solárního systému pro ohřev TUV [11]	21
Obr. 13 – Složení plochého solárního kolektoru [7]	22
Obr. 14 – Tepelné pochody v solárním kolektoru [7]	23
Obr. 15 - Tepelné ztráty v solárním kolektoru [7]	24
Obr. 16 - Tepelné ztráty v solárním kolektoru (např. při $E=800 \text{ W/m}^2$) [4] ..	26
Obr. 17 - Křivky účinnosti kolektoru [4]	27
Obr. 18 - Materiály a konstrukční formy absorbérů [4]	30
Obr. 19 – Typy řazení solárních kolektorů [7]	33
Obr. 20 – Příklad ocelového zásobníku [7]	34
Obr. 21 – Regulace solárního systému [7]	36
Obr. 22 – Schéma solárního systému SPŠ Břeclav [10]	39
Obr. 23 – Webové rozhraní monitoringu [10]	40
Obr. 24 – Orientace solárních kolektorů na budově [fotografie autor]	40
Obr. 25 – Solární zásobník 1000 l [fotografie autor]	41
Obr. 26 – Pohled na výměníky a další infrastrukturu [fotografie autor]	41
Obr. 27 – Využití fuzzy logiky při ohřevu vody [14]	43
Obr. 28 – Simulace solárních zisků [Polysun]	47
Obr. 29 – Princip prediktivní regulace [28]	49

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].



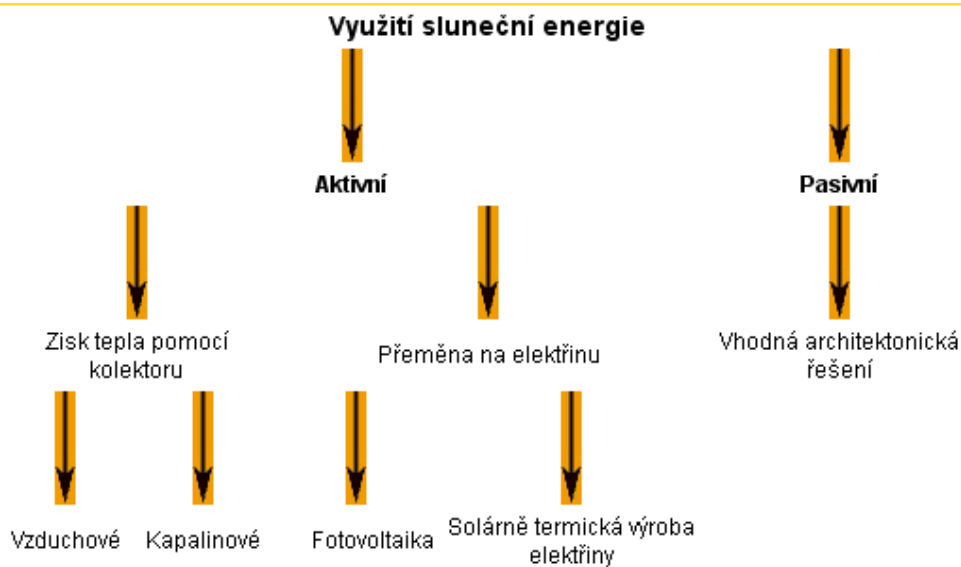
Obr. 1 – Energie obsažená ve slunečním záření [6]

1. Solární fototermitické 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].

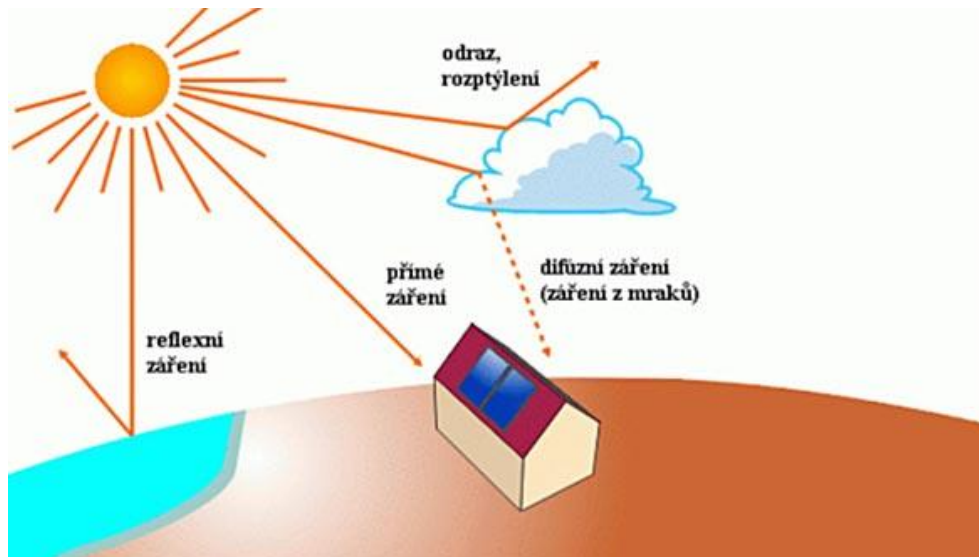
Využití sluneční energie - rozdělení



Obr. 2 – 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. 3 – 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 částech 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

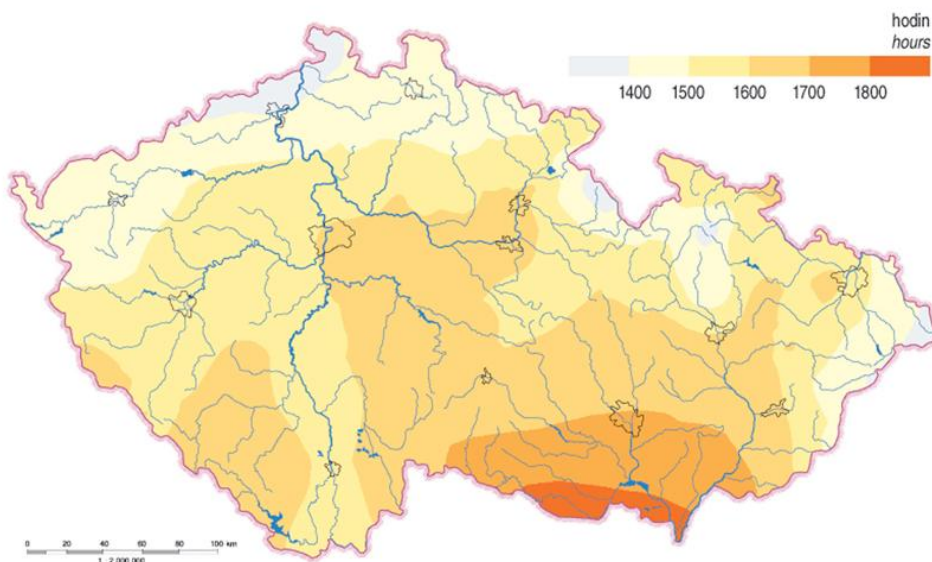
energetické systémy energii dodávat neustále a nebýt závislé na okamžité intenzitě slunečního záření, musí obsahovat odpovídající zásobníky nebo přídatné systémy.

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 wattodinách na m^2 (Wh/m^2 nebo kWh/m^2)

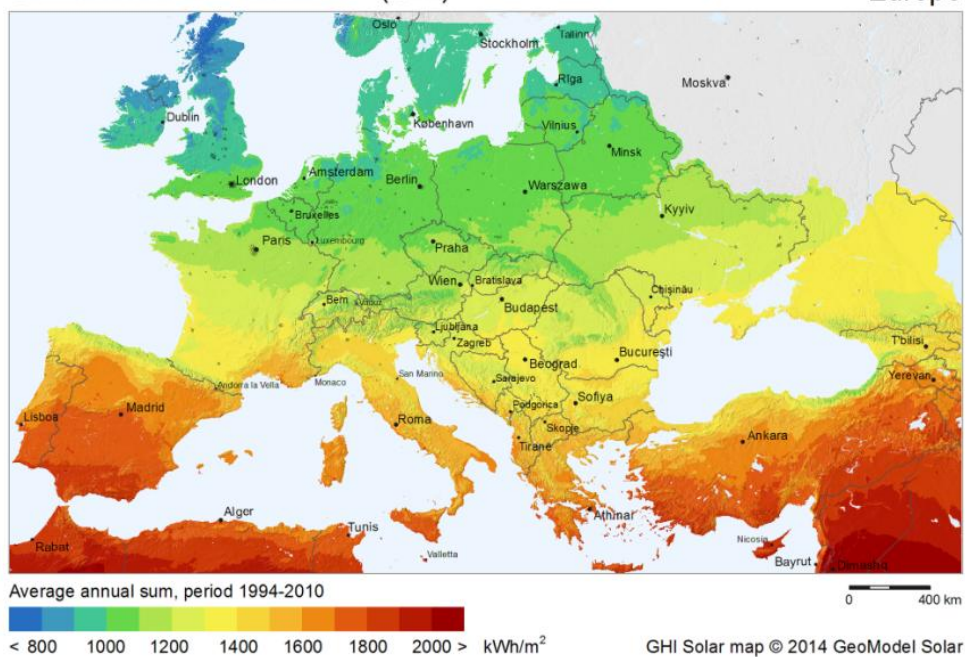
Aby mohly být tyto naměřené hodnoty brány v úvahu, sdělují meteorologové průměrnou nabídku, s ohledem na průměry za více let [4].



Obr. 4 – Délka slunečního svitu za rok v ČR [1]

Global Horizontal Irradiation (GHI)

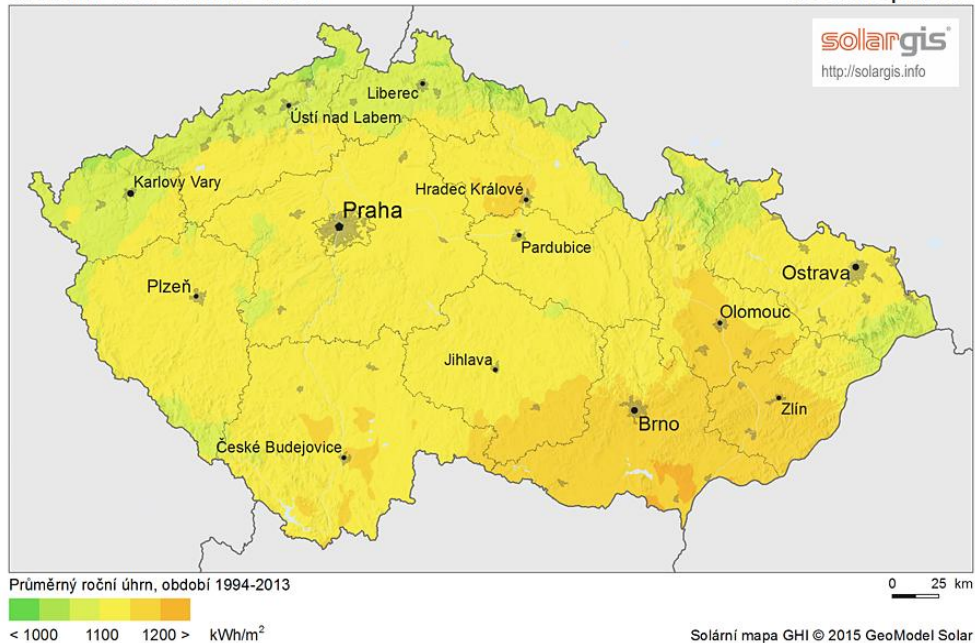
Europe



Obr. 5 – Globální horizontální záření v Evropě [2]

Globální horizontální záření

Česká republika



Obr. 6 – Globální horizontální záření v ČR [2]

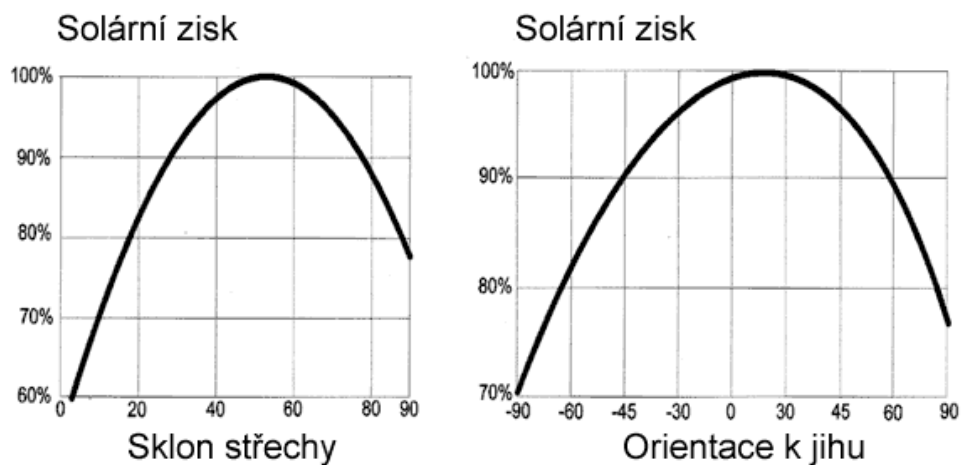
1.4 Orientace solárních kolektorů ke Slunci

Orientací 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.

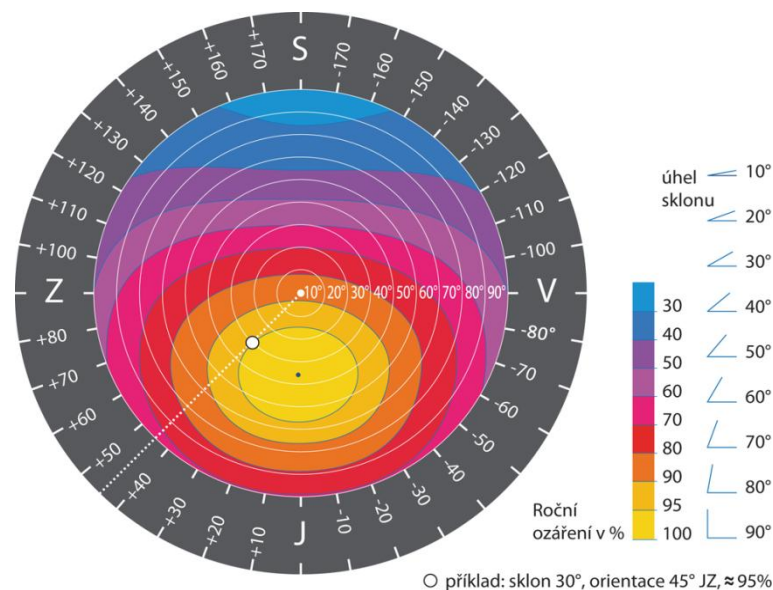
Příjem zářivé energie se mění, není-li ozářená plocha skloněná a orientovaná k jihu. Největší energie se dosahuje v letním období při cca 30°, zatímco v ostatních ročních obdobích je sklon cca 60°. Pro celoroční využití jsou obvyklé sklony mezi 30° a 60°.

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. 7 – Vliv sklonu kolektoru na solární zisk [7]

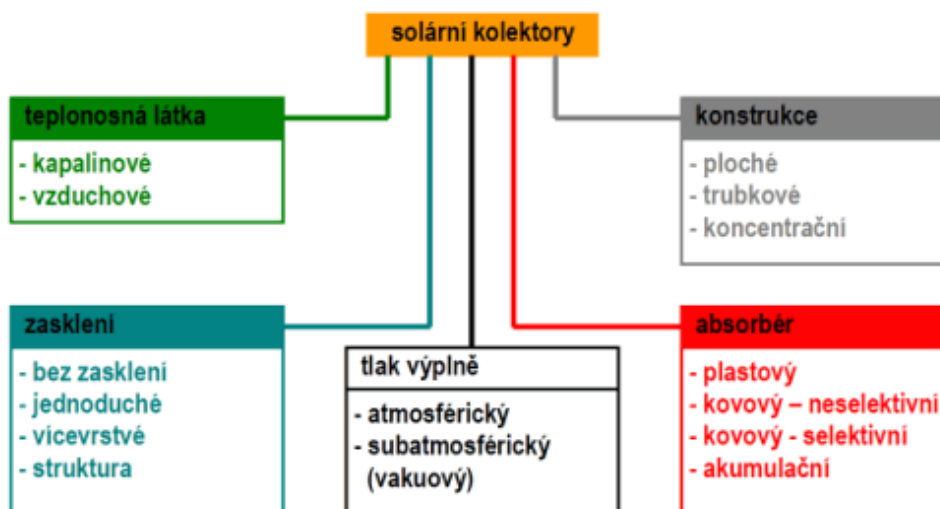


Obr. 8 – Diagram vlivu orientace panelu na solární zisk [3]

2. Technické využití solární energie

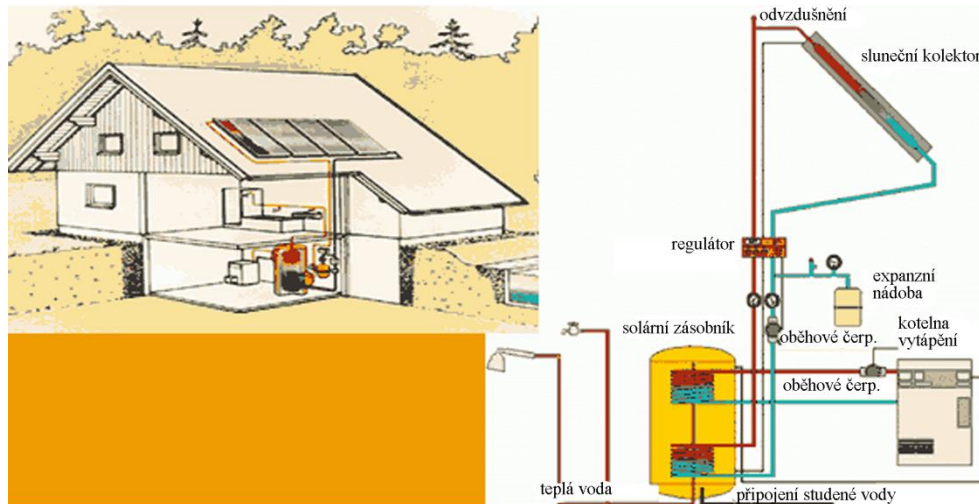
2.1 Solární kolektory

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



Obr. 9 – 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. 10 – 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 střeších 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.

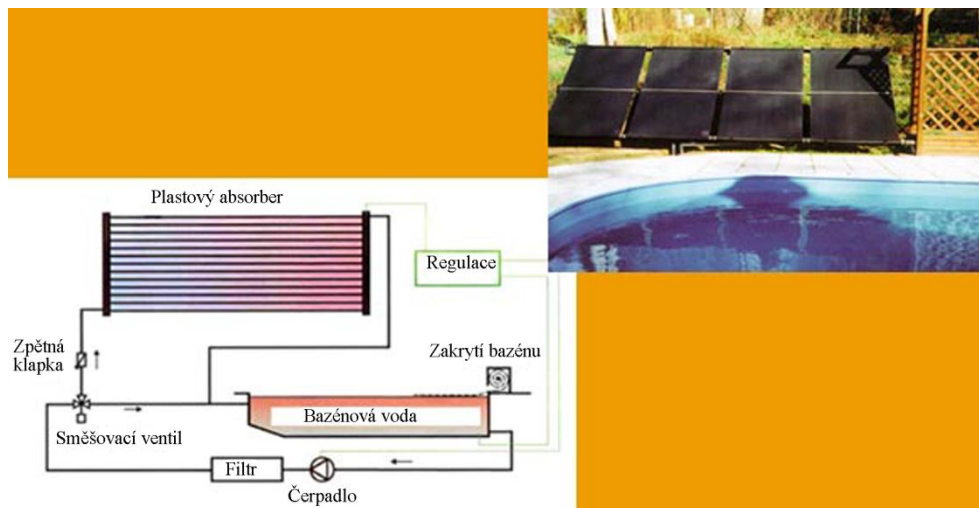
2.3 Možnosti použití

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. 11 – Schéma ohřevu bazénové vody [7]

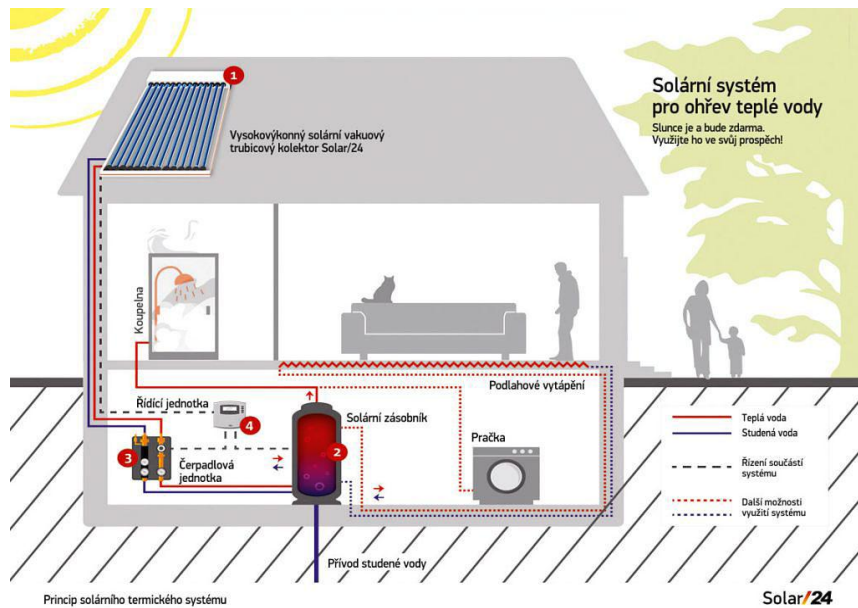
2.5 Solární ohřev TUV

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 (elektrina, 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 absorber. 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 zamrzávání. 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. 12 – 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.

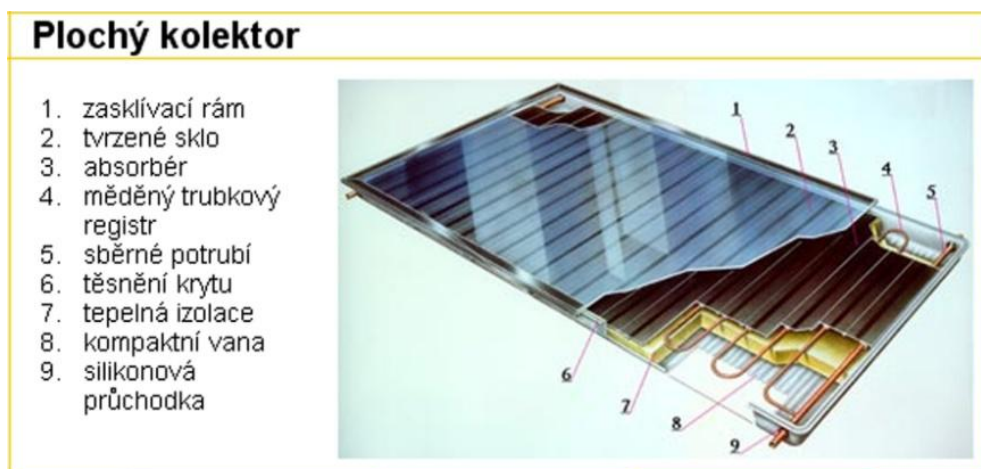
100% solární krytí potřeby tepla je teoreticky možné, v praxi spíše výjimečné. 20 až 30% krytí potřeby rodinného domu může být dosaženo již s kolektorovou plochou 8 až 20 m² ve spojení s objemem zásobníku 600 až 2000 l. Nejjednodušší koncept spočívá v systému s jedním zásobníkem pro teplou vodu, která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

Teplotní stratifikací 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 akumulacího zásobníku [19].

2.7 Funkce a konstrukce solárního kolektoru

Solární kolektor se skládá z většinou černě povrstvené kovové desky - absorpéru, 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.

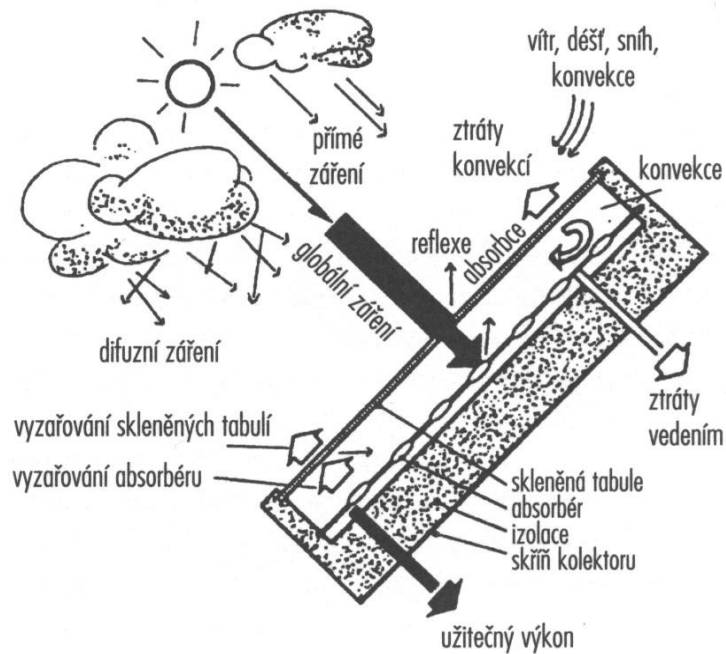
V absorpéru nebo na něm jsou připevněny trubice, kterými protéká teplotnosná kapalina (nejčastěji voda nebo směs vody s přípravkem zajišťujícím mrazuvzdornost).



Obr. 13 – Složení plochého solárního kolektoru [7]

2.8 Tepelné ztráty solárních kolektorů

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



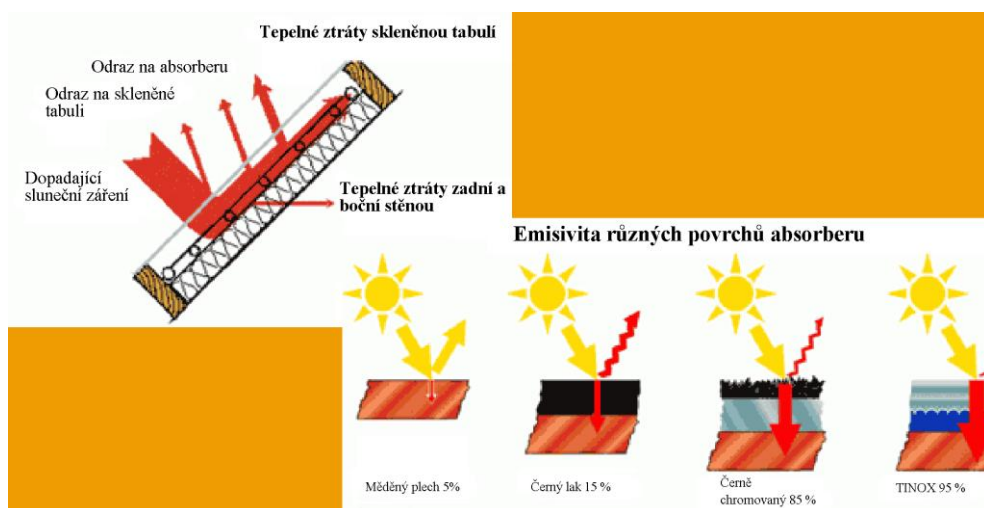
Obr. 14 – Tepelné pochody v solárním kolektoru [7]

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 infrazářením do okolí**
- **Ztráty konvekcí - na horkém absorbérů a všech teplých tělesech se ohřívá vzduch, stoupá a odvádí tím teplo**
- **Ztráty vedením tepla - upevňovacími prvky absorbérů, trubicemi a zadní stranou absorbérů je část tepla odváděna a ztrácena**

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

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



Obr. 15 - Tepelné ztráty v solárním kolektoru [7]

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

$$W_V = k \cdot (u_m - u_L) \quad (1)$$

$$W_A = \alpha \cdot \tau \cdot E \quad (2)$$

Užitečný výkon W_N , který je odváděn v ohřáté teplotonosné kapalině, je rozdílem mezi tepelným výkonem na absorbéru W_A a tepelnými ztrátami kolektorové konstrukce W_V :

$$W_N = W_A - W_V = \alpha \cdot \tau \cdot E - k \cdot (u_m - u_L) \quad (3)$$

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^2
u_m	střední teplota absorbérů ve $^{\circ}C$
u_L	teplota v okolí kolektoru ve $^{\circ}C$
W_A	tepelný výkon absorbérů ve W/m^2
W_V	tepelná ztráta absorbérů ve W/m^2
W_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.

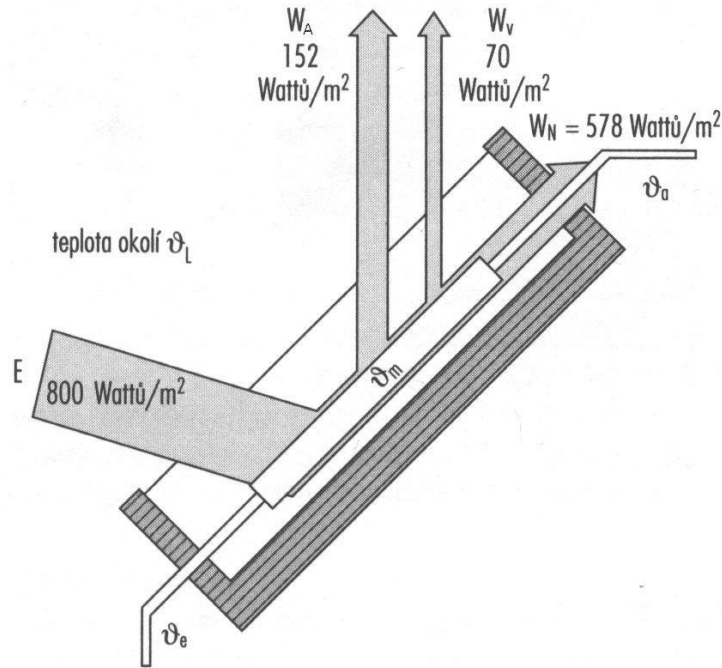
Jakmile jsou známy charakteristické hodnoty α , τ a k , které lze normovým postupem naměřit a udávají je výrobci, dá se při znalosti daného záření vypočítat pro libovolnou teplotu absorbérů výsledný užitečný tepelný výkon.

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:

$$\eta = W_N / E = \alpha \cdot \tau - k \cdot (u_m - u_L) / E = \alpha \cdot \tau - k \cdot x \quad (4)$$

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



Obr. 16 - Tepelné ztráty v solárním kolektoru (např. při $E=800 \text{ W/m}^2$) [4]

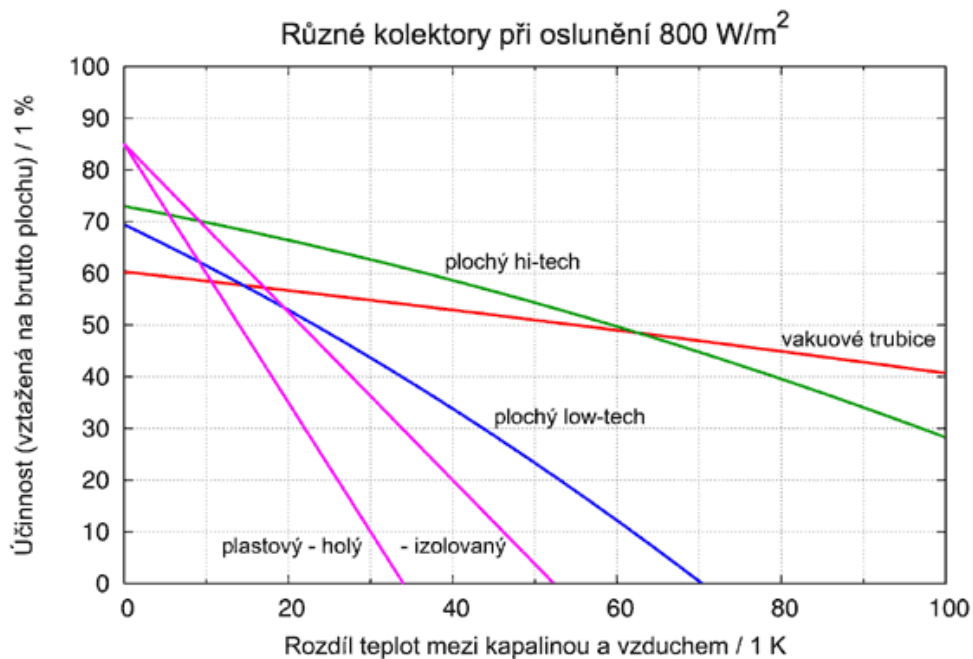
2.10 Křivky účinnosti kolektorů

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 $30 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 $80 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Vakuované kolektory dosahují teplot větších než $100 \text{ }^\circ\text{C}$, mají ale nižší účinnost v letním období. Pokud máme menší plochu pro umístění kolektorů, než je doporučena, 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. 17 - 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].

Abyste 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 teplotnosné kapaliny kolektorem a rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem kolektoru [20]:

$$Q_k = M \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (5)$$

kde:

- M** hmotnostní průtok teplotnosné kapaliny kolektorem v kg/s
- c** měrná tepelná kapacita teplotnosné kapaliny v J/(kg.K)
- t₁** teplota na vstupu do solárního kolektoru ve °C
- t₂** teplota na výstupu ze solárního kolektoru ve °C

Účinnost solárního kolektoru za ustálených podmínek:

$$\eta = Q_k / G \cdot A_k \quad (6)$$

kde:

- G** sluneční ozáření ve W/m²
- A_k** vztažná plocha kolektoru v m²

Účinnost solárního kolektoru závislá na venkovních klimatických podmínkách:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_o) / G - a_2 \cdot (t_m - t_o)^2 / G \quad (7)$$

kde:

- η₀** účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu
- t_m** střední teplota teplotnosné kapaliny
- t_o** teplota okolí
- a₁** lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ve W/(m².K)
- a₂** kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ve W/(m².K²);

Tepelný výkon solárního kolektoru:

$$Q_k = A_k \cdot [G \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2] \quad (8)$$

Jako jednotka pro vzájemné porovnávání se používá kWh/m².rok neboli kWh.m⁻².rok⁻¹.

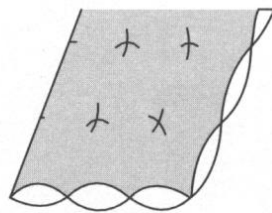
Podle druhu konstrukce byly určeny následující směrné hodnoty [7]:

- Ploché kolektory bez selektivního povrstvení 250 až 400 kWh/m².rok
- Ploché kolektory se selektivním povrstvením 320 až 530 kWh/m².rok
- Vakuované trubicové kolektory 400 až 890 kWh/m².rok

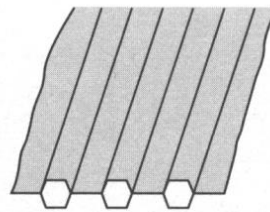
Účinnost kolektoru je dána principem jeho konstrukce, jeho vrstvením, dále odolností transparentního krytu a jakostí jeho utěsnění ve skříni.

2.13 Materiálové vlastnosti stavby kolektorů

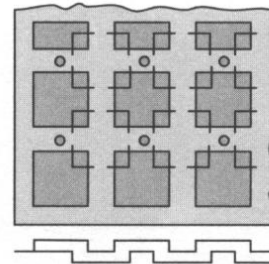
Jako materiály pro absorbéry se s ohledem na vysoké teploty při možném chodu naprázdno volí téměř výhradně měď, ocel a hliník. Pro každý materiál je typický způsob jeho zpracování.



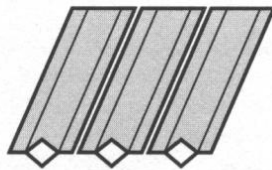
polystářový kolektor z bodově svařených plechů a se zaválcovanými okraji; ocel, nerezové plechy (Solahart)



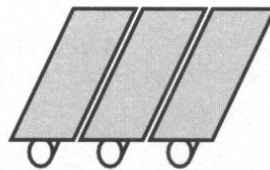
válcovaný hliníkový absorbér s úzkými průtočnými kanálky; hliník (např. SET)



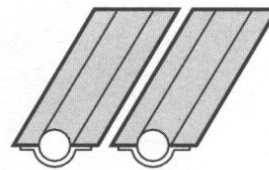
bodově svařený absorbér z plechů z ušlechtilé oceli (Energie Solaire)



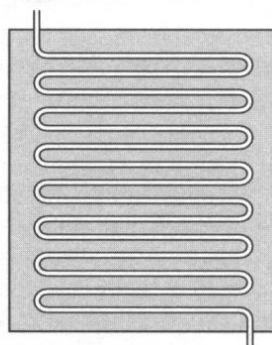
lamelový absorbér s vytlisovanými kanálky; měď, hliník (Sunstrip)



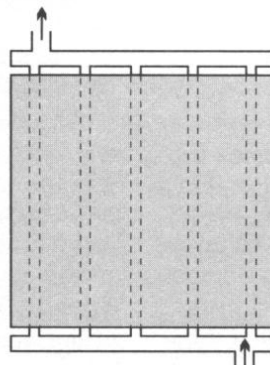
lamelový absorbér s přivařenou trůbkou; měď (např. Wagner)



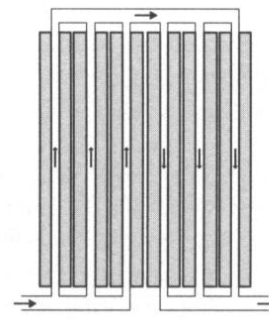
lamelový absorbér ovinutý plechem, bodově svařený; měď (např. Gibo)



serpentinový absorbér s navařeným nebo naletovaným meandrem; měď (např. Viessmann)



deskový absorbér s trůbkovým registrem (např. Buderus)



trůbkový registr s jednotlivými lamelami (např. Solvis)

Obr. 18 - Materiály a konstrukční formy absorbérů [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 absorbéru 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 absorbéru 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 absorbéru chráněny ještě odolnou mezivrstvou. Vzhledem k lepší tepelné odolnosti jsou v současnosti hromadně využívány tepelné izolace na bázi čedičových a skelných rohoží nebo desek.

Skříň kolektoru musí trvale a s jistotou chránit absorbér a tepelnou izolaci před vlivy počasí a vlhkostí, zajišťovat vzájemné spojení absorbéru, 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 skříň, 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 skříň, odpovídající obvykle vlhkosti vzduchu venkovního, kondenzuje na vnitřní straně skleněného krytu, což vede k úbytku výkonnosti 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

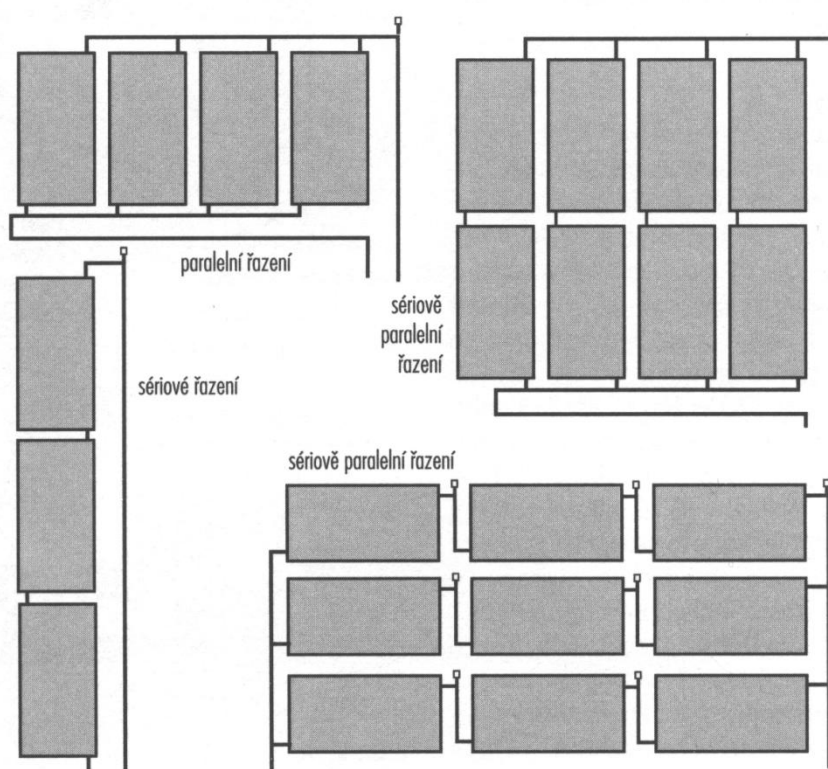
Fasádní kolektory v podstatě nejsou nic jiného než běžné solární kolektory, které nebudou instalovány na střeše, ale na fasádě budovy. Integrací do fasády, i s ohledem na konstrukční detaily a požadavky – například na ochranu budovy před hlukem a vlivy počasí, se dá dosáhnout příznivých nákladů.

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



Obr. 19 – 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:

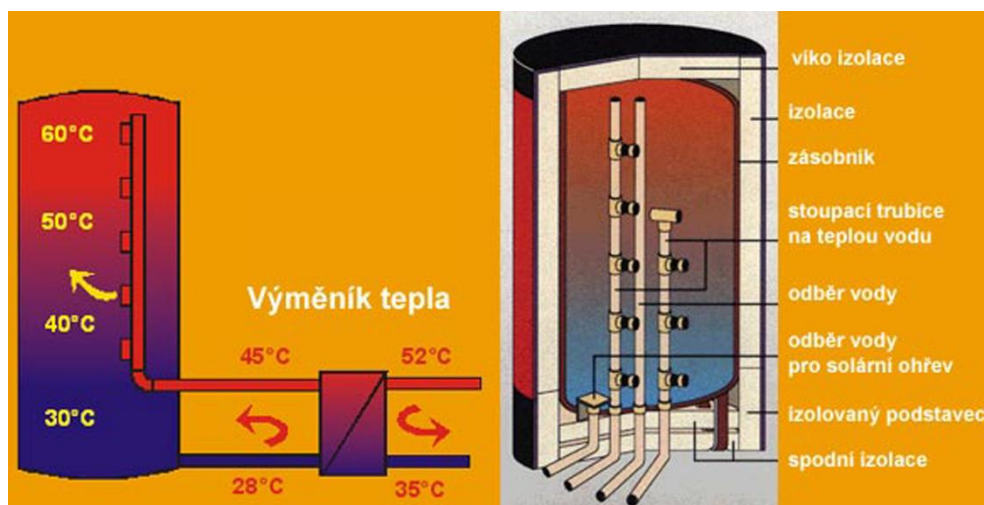
- Materiály pro zásobník
 - ocel
 - ušlechtilá ocel
 - plast
- Konstrukce a účel použití
 - zásobník pitné vody
 - kombinovaný zásobník nebo nádrž v nádrži
 - vyrovnávací zásobník
- Tlakové poměry v zásobníku
 - tlakový
 - beztlakový

Pro solární přípravu teplé vody přichází v úvahu převážně ocelové zásobníky. Zásobníky na pitnou vodu jsou pro ochranu před korozí 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 magnезiová tyč, tzv. obětovaná anoda [4].

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

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



Obr. 20 – Příklad ocelového 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 nemrznoucími 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

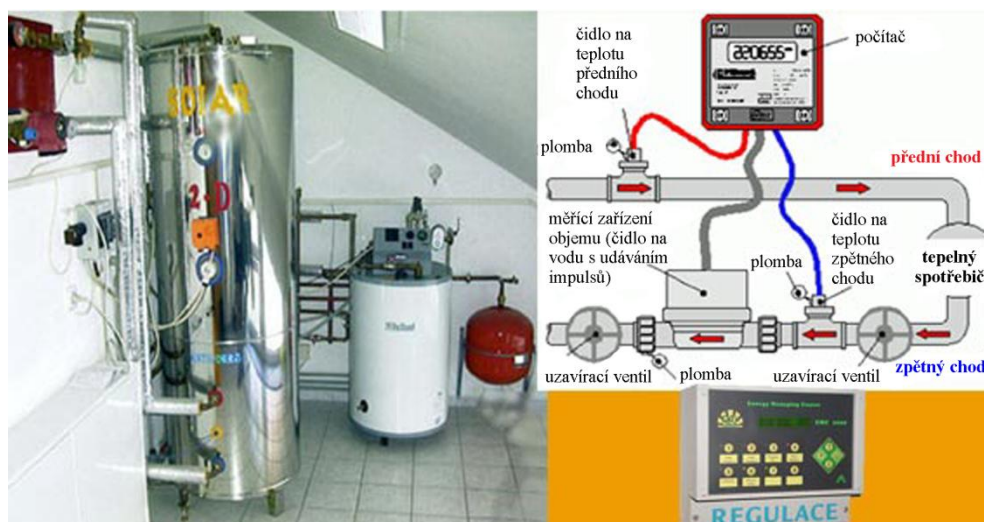
Tam, kde používáme nuceného oběhu tepla, musíme do systému zařadit regulační zařízení. Zabezpečuje nám optimální výkon systému a chrání systém před poškozením.

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. 21 – Regulace solárního systému [7]

3. Popis stavu solárního systému před optimalizací

3.1 Solární zařízení na ohřev TUV 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.

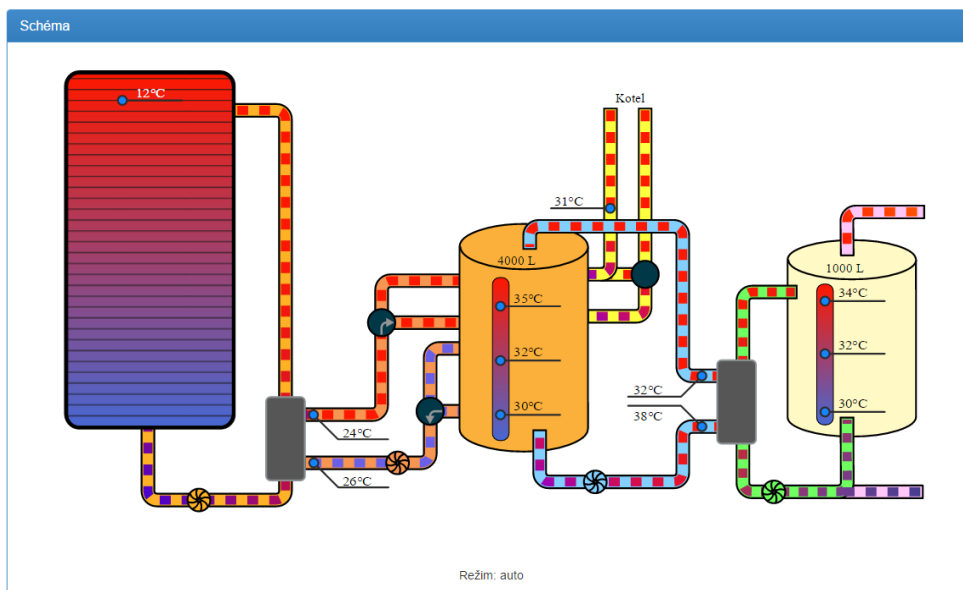
Velikost zásobníku TUV neodpovídá energetické možnosti velikosti kolektorové plochy. Je to z toho důvodu, že u velkých systémů, hlavně ve školských zařízeních, je TUV odebírána během dne nárazově v několika špičkách. V tomto případě je zvolen menší zásobník TUV, který je několikrát za den dohříván. Tato 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 výťažnost 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 akumulačního zásobníku topného média o objemu 4 000 l a 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 nastavenými teplotními pásmy a 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. 23 – Webové rozhraní monitoringu [10]



Obr. 24 – Orientace solárních kolektorů na budově [fotografie autor]



Obr. 25 – Solární zásobník 1000 l [fotografie autor]



Obr. 26 – Pohled na výměníky a další infrastrukturu [fotografie autor]

4. Návrh vlastního řešení

- Zvýšení výkonu solárního systému novým řídicím algoritmem založeným na dynamičtějším pásem teplot využívajících řízení pomocí fuzzy logiky
- Zdokonalení monitoringu systému – online měření teplot a průtoků jednotlivých větví solárního okruhu i otopného okruhu a zobrazení aktuální energetické bilance
- Zapojení vlivu předpovědi počasí (nová meteostanice a online údaje)
- 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 neostrý, 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 ($v = \text{malá}$) and ($d = \text{malá}$) then ($F = \text{střední}$),
if ($v = \text{velká}$) and ($d = \text{velká}$) then ($F = \text{střední}$).

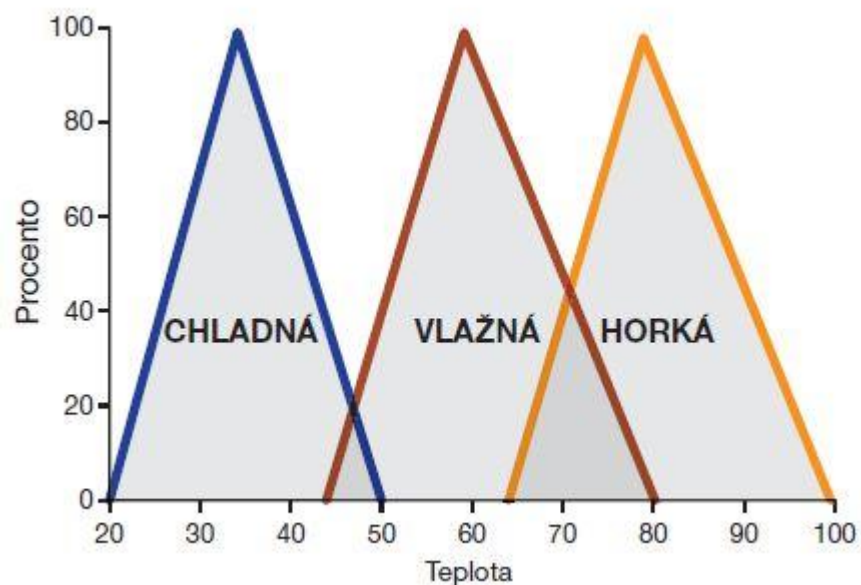
kde:

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. Schéma viz přílohy.



Obř. 27 – 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 compound 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 compound 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)

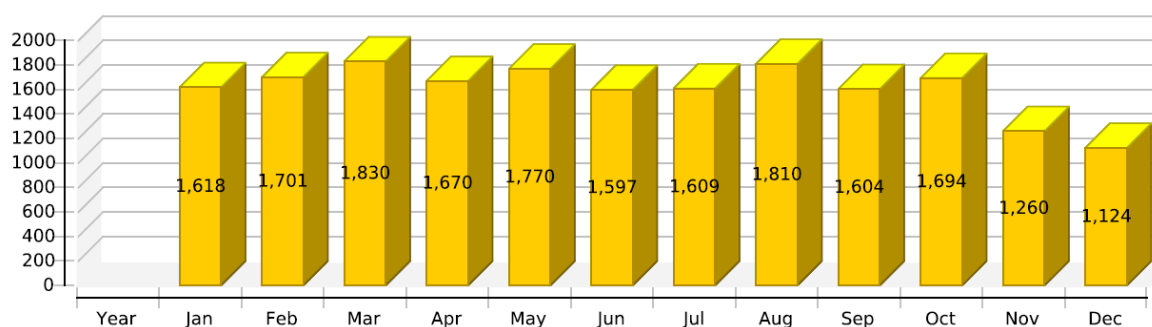
Boiler	Gas 20kW	
Power	kW	20
Total efficiency	%	78.2
Fuel and electricity consumption [Eaux]	kWh	2,309.5

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. 28 – 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 termostat 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 akumulární schopnost nebo například předpověď počasí. Prediktivní regulace je v principu velmi jednoduchá, ale její realizace skrývá řadu komplikací.

Zjednodušený popis (vstupně-výstupní model systému):

$$y = P(u, t, x_0) \quad (9)$$

kde:

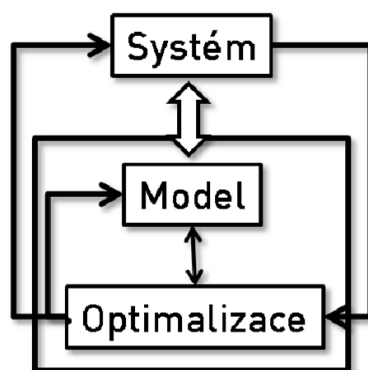
P model systému
y výstupy systému
u vstupy systému
t čas
x₀ počáteční podmínky

Optimální řídicí posloupnost:

$$u_{optimal} = \arg \min_u J(u, t, x) \quad (10)$$

kde:

J vhodné kritérium optimality



Obr. 29 – 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

Pro financování solárního systému bylo využito státní podpory MŽP prostřednictvím SFŽP. 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 příspěví 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.

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

	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	30.580
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

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.

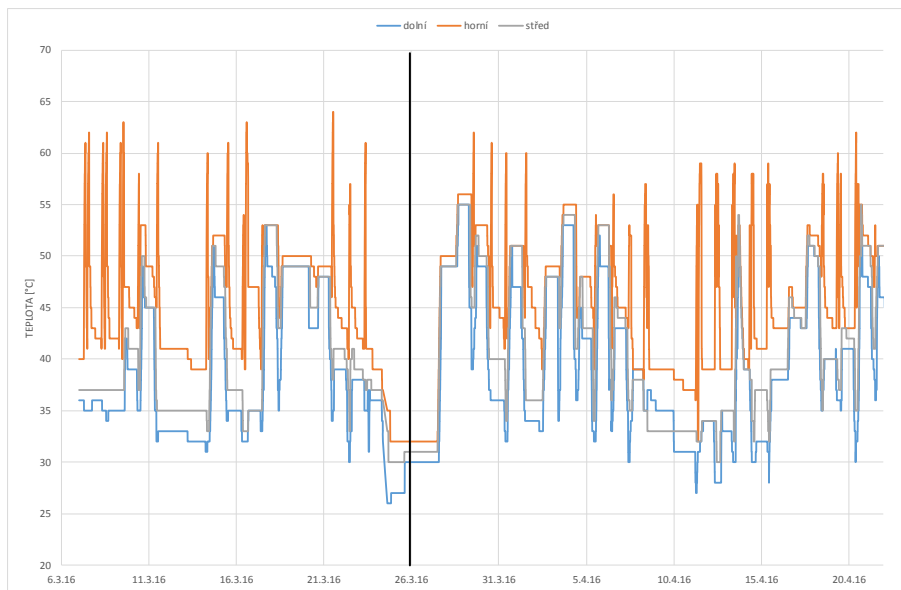
Životnost solárního kolektoru je dána odolností proti negativnímu působení extrémních stavů, které mohou nastat v provozu: vysoké teploty a tlaky, nárazy (krupobití), teplotní šoky. Odolnost vůči extrémním podmínkám se testuje zkouškami podle ČSN EN 12975-2. Zkoušky však nejsou povinné, avšak v různých 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

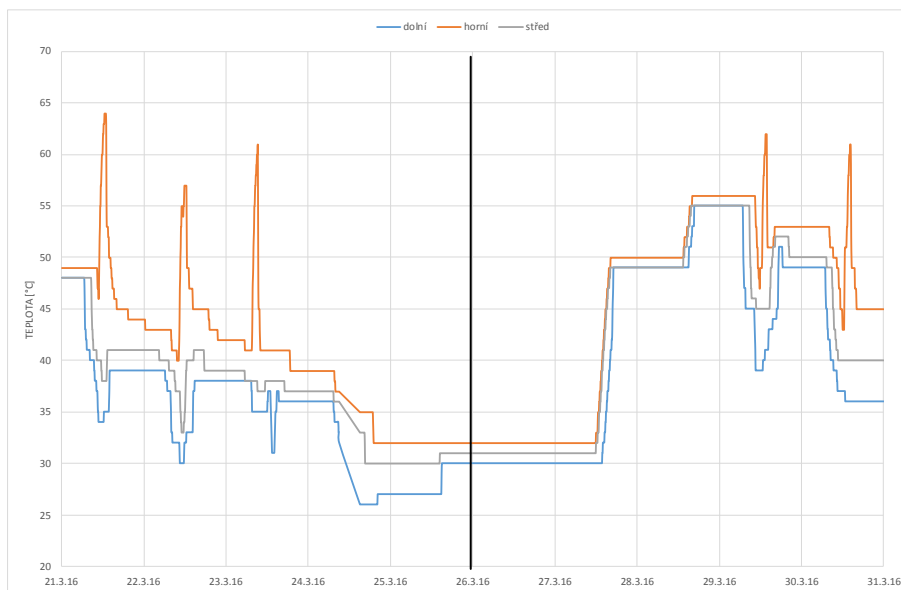
Recyklace fotovoltaických panelů se stává zajímavým podnikatelským záměrem, způsobeným zejména jejich masovým rozšířením a potřebou jejich následné ekologické likvidace.

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.

11. Vyhodnocení naměřených dat



Graf č. 1 – Srovnání teplotních průběhů solárního zásobníku před a po uskutečnění optimalizace řízení (26. 3. 2016)



Graf č. 2 – Detail srovnání teplotních průběhů solárního zásobníku před a po uskutečnění optimalizace řízení (26. 3. 2016)

Porovnáním teplotních průběhů před a po uskutečnění optimalizace se očekává změna teplotního profilu projevila velmi málo. 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 i budoucí stav počasí. Dalším významným výstupem je například zdokonalení monitoringu aktuálních teplot a průtoků 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 průtoků, která by se mohla sama stát základem další diplomové práce, například pro různé druhy matematických analýz a modelování.

13. Zdroje informací

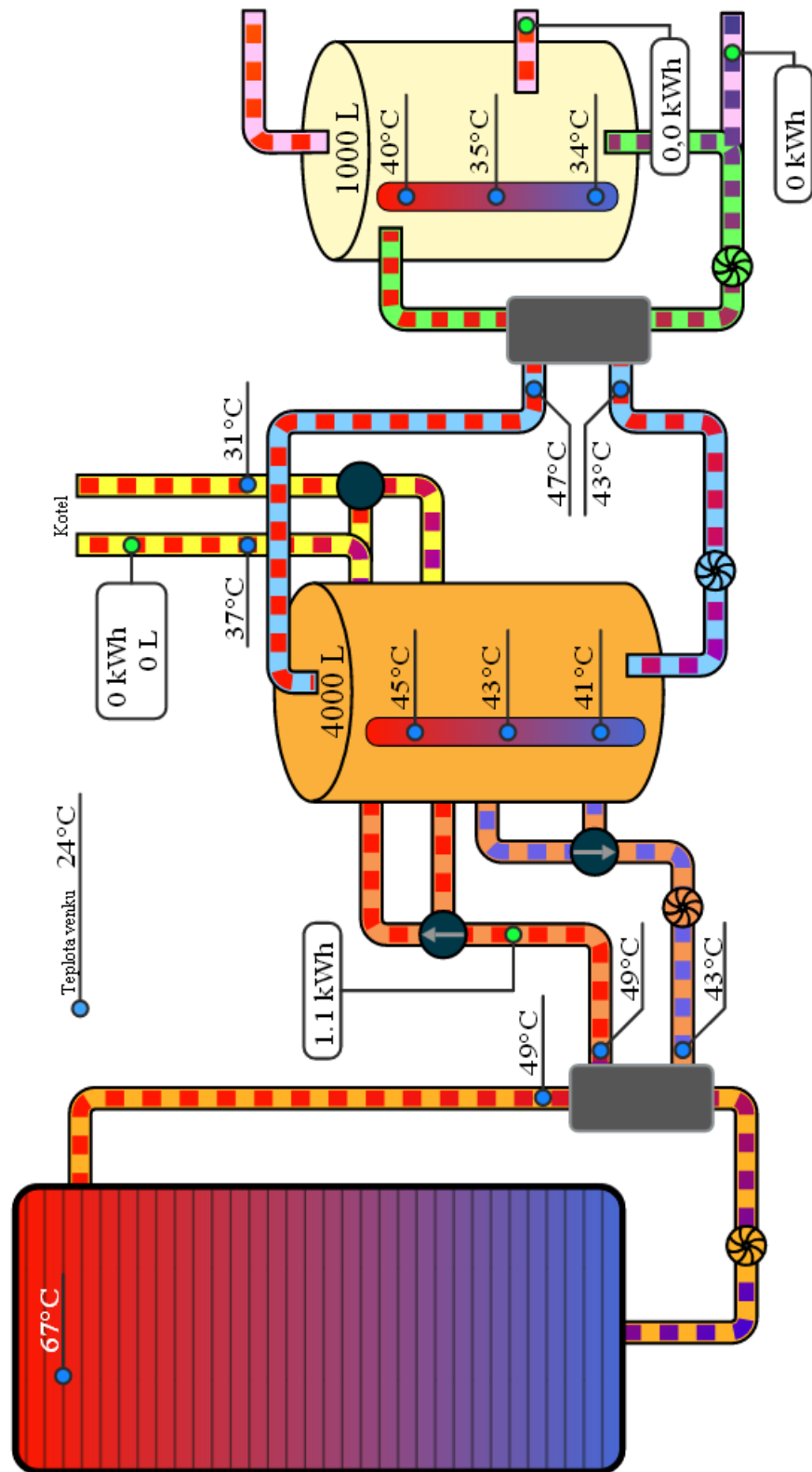
- [1] Fotovoltaika v podmínkách České republiky: Sluneční záření [online]. České Budějovice: ISOFEN ENERGY s.r.o. [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [2] Free Download of Solar Radiation Maps: Global Horizontal Irradiation [online]. Bratislava: SolarGIS, 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]. 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/folie/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 fototermální kapalinové kolektory II Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6539-prime-vyuziti-slunecni-energie-systemy-vyuzivajici-fototermalni-kapalinove-kolektory-ii>. TZB-info [online]. 2010, : 1 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6539-prime-vyuziti-slunecni-energie-systemy-vyuzivajici-fototermalni-kapalinove-kolektory-ii>
- [13] Základy fuzzy logiky. Nawebka [online]. Rydval, 2010 [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: <http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cisloclanku=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: VUTUM, 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]. 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]. 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] EFLL - A Fuzzy Library for Arduino and Embeded Systems. Zerokol.com [online]. 2012 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.zerokol.com/2012/09/arduinofuzzy-fuzzy-library-for-arduino.html>
- [23] MATUŠKA, Tomáš. Simulační nástroje pro hodnocení solárních soustav. Tzb-info [online]. [cit. 2016-05-24]. 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, Břeclav. 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>

14. SEZNAM PŘÍLOH

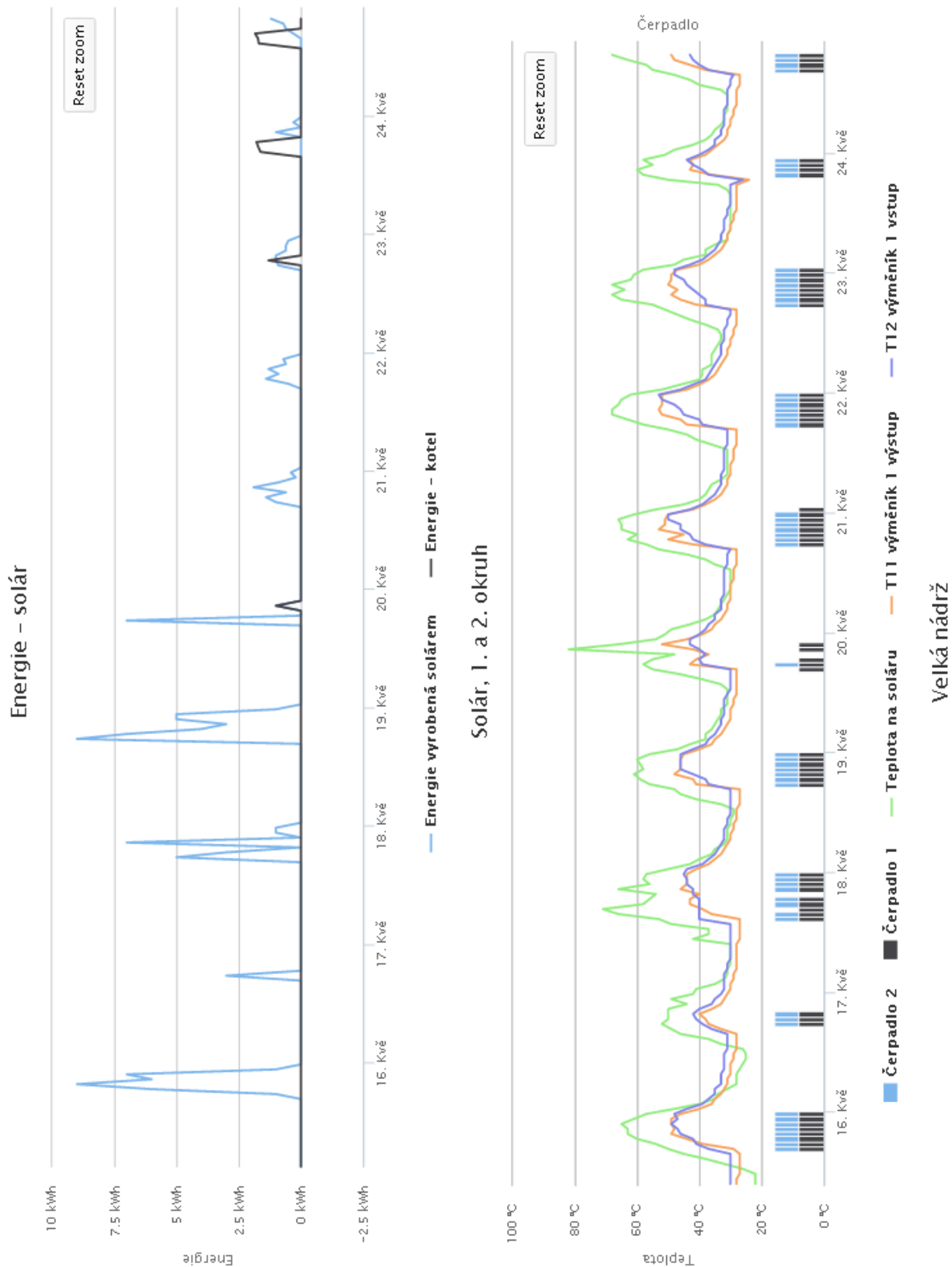
Obr. I.I - Současné webové rozhraní monitoringu [solar.spsbv.cz]	57
Obr. I.II – Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 1 [solar.spsbv.cz].....	58
Obr. I.III – Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 2 [solar.spsbv.cz].....	59
Obr. II.I – Historická data z přípravné studie 1 [25].....	60
Obr. II.II – Historická data z přípravné studie 2 [25].....	61
Obr. II.III – Historická data z přípravné studie 3 [25].....	62
Obr. III.I – Aktuální simulace 1 [Polysun].....	63
Obr. III.II – Aktuální simulace 2 [Polysun]	64

Sřreda	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
☁	☁☀	☁☀	☁☀	☁☀
20 °C	21 °C	21 °C	24 °C	26 °C



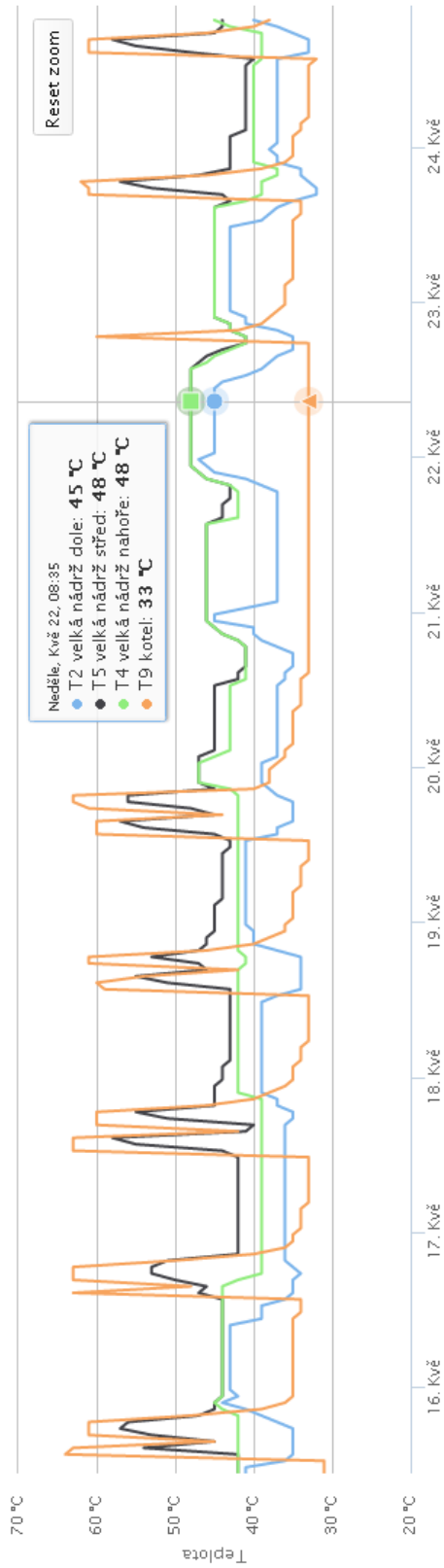
Režim: auto

Obr. 1.1 - Současné webové rozhraní monitoringu [solar.spsbv.cz]

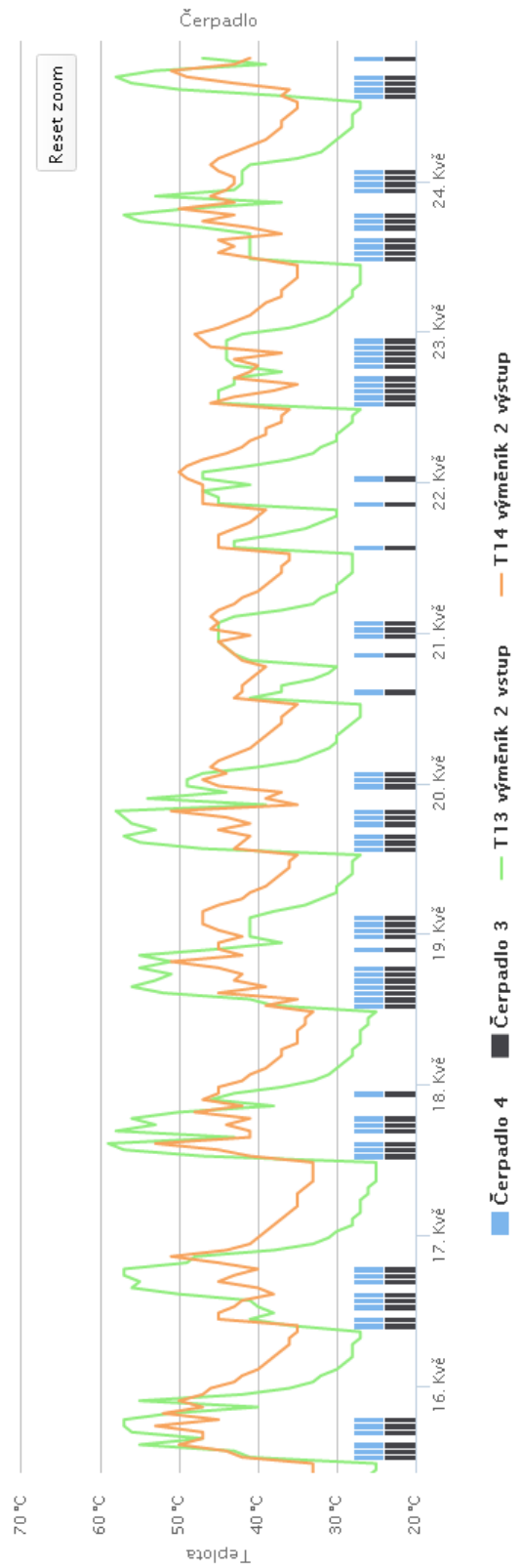


Obr. 1.II – Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 1 [solar.spsbv.cz]

Velká nádrž



3. a 4. okruh



Obr. I.III – Online zobrazení jednotlivých parametrů systému 2 [solar.spsbv.cz]

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

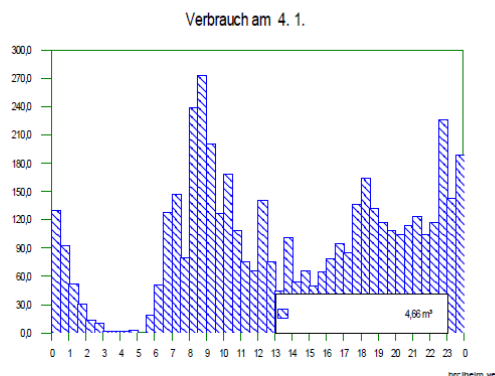


Bild 3: Warmwasserverbrauch Norm – Tagesprofil eines Studentenhauses (Quelle: TSOL 3.2)

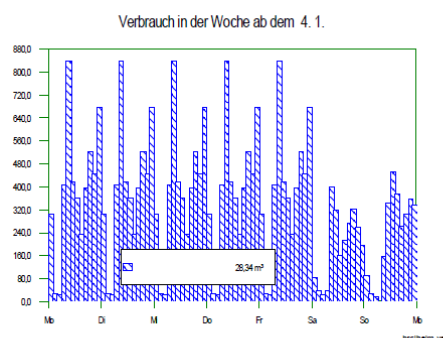
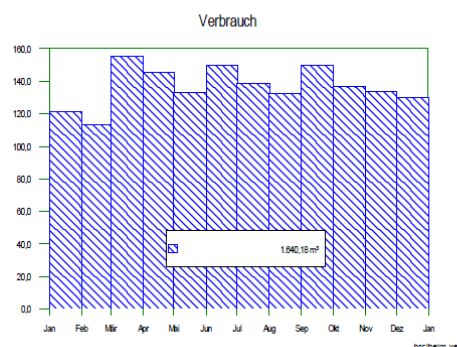
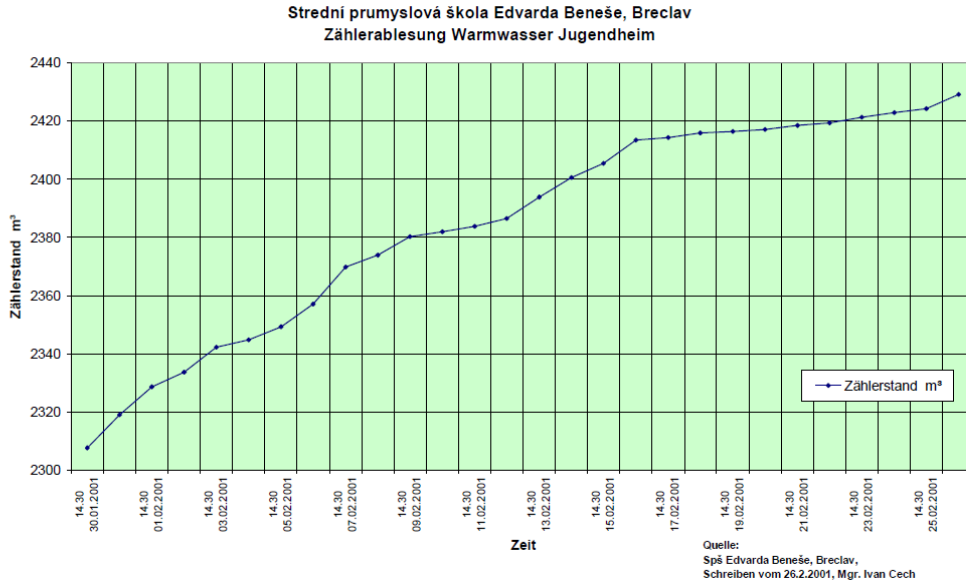


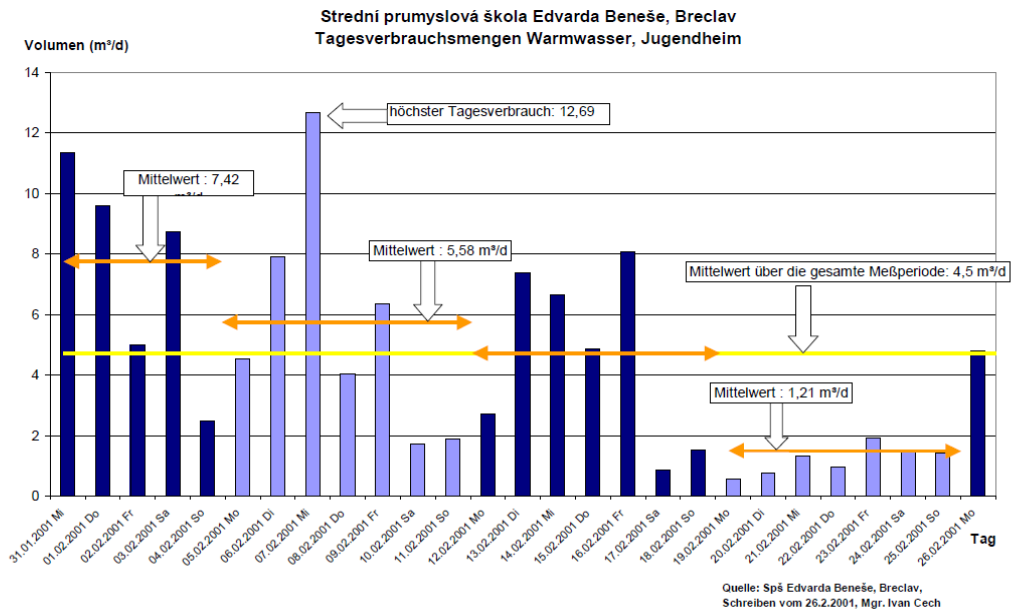
Bild 4: Warmwasserverbrauch Norm – Wochenprofil eines Studentenhauses (Quelle: TSOL 3.2)

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 l/m ² .d)	50 m ²
maximální velikost kolektorové plochy (a = 30 l/m ² .d)	100 m ²

Verbrauch in der Woche ab dem 4. 1.

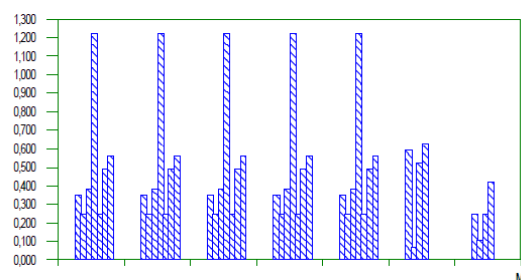


Bild 14: Wochenprofil auf Basis der Erhebungen

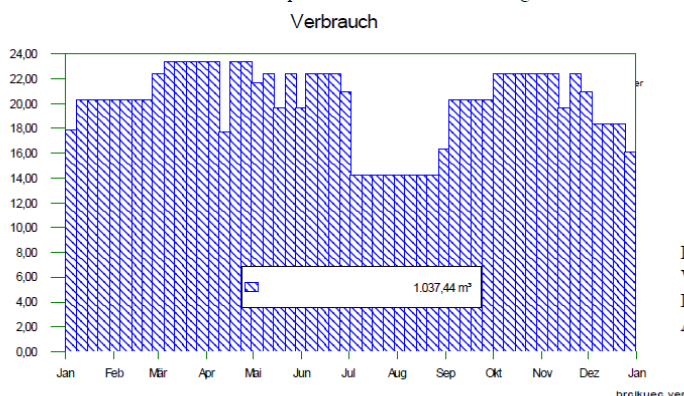


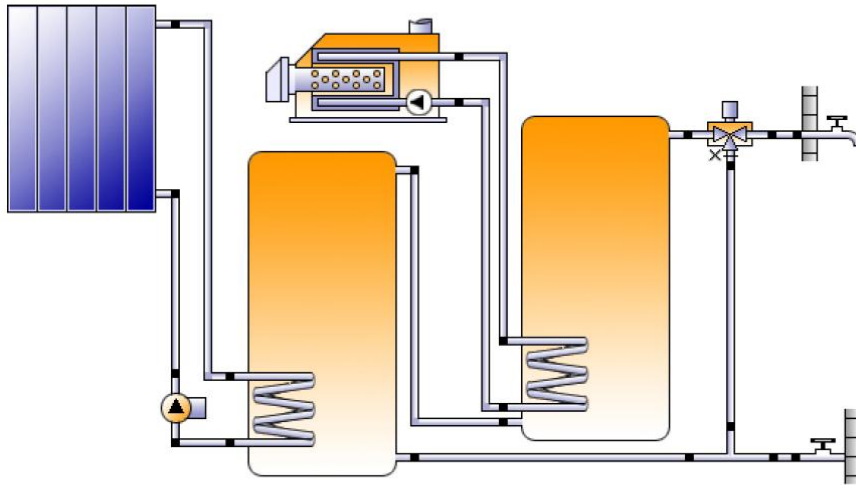
Bild 15: Jahresprofil für den Warmwasserverbrauch im Küchentrakt, entwickelt aus den Angaben des Haustechnikers

Summary report

polysun
online®

My project

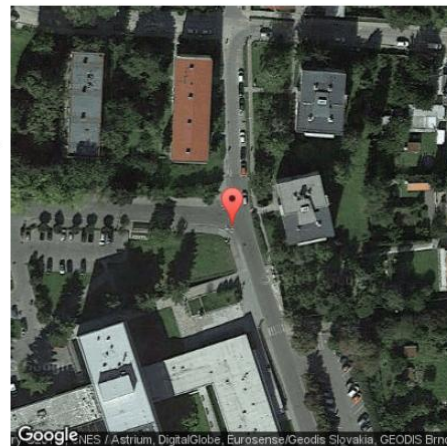
Standard solar residential 2 tank system



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.1 – Aktuální simulace 1 [Polysun]

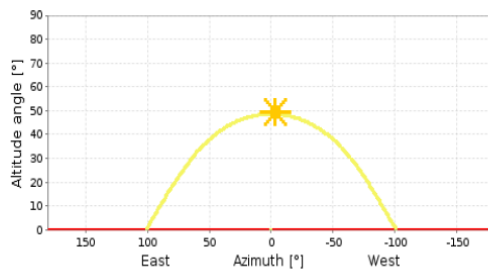
Summary report



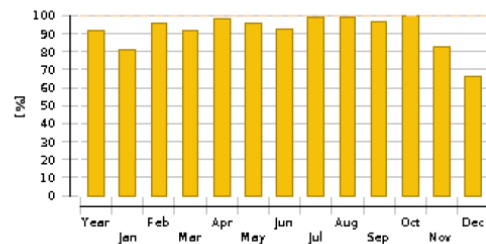
Overview solar thermal energy (annual values)

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 [SF_n]



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 [Q _{sol}]	kWh	19,286.7	
Irradiation onto collector area [E _{sol}]	kWh	68,074	
Hot water demand		Daily peaks	
Volume withdrawal/daily consumption	l/d	1,000	
Temperature setting	°C	50	
Energy demand [Q _{dem}]	kWh	17,030.9	