

ANOTACE

Práce se zabývá experimentálním vyhodnocením účinnostních charakteristik fototermálních slunečních kolektorů v podmínkách solární laboratoře Technické univerzity v Liberci. Popisují se rovněž zkušenosti s uváděním laboratoře do provozu. Povětrnostní podmínky paralelně monitorovala připojená meteorologická stanice

Po dobu měření se jako nejúčinnější (podle celkové získané energie v kWh/m²) ukázaly ploché i trubicové kolektory se selektivním povrstvením absorberu. Malý rozdíl mezi získanou energií u selektivních plochých a trubicových kolektorů není s souladu s podstatně vyšší cenou vakuových trubicových kolektorů.

Vzhledem ke krátké době měření se přednosti nebo naopak nevýhody některých kolektorů mohou projevit v jiném ročním období.

Klíčová slova: Fototermální kolektor, solární energie, ohřev TUV

ANNOTATION

Diploma thesis deals with experimental evaluation of performance characteristics of photothermal solar collectors in real weather conditions (solar laboratory, Technical University of Liberec). First experiences with the development and testing of the laboratory are also described. Weather conditions were measured by interfaced meteorological station.

Flat and vacuum tube collectors (both with selective coating of absorbers) displayed the best performance characteristics (total energy yield in kWh/m²). Small difference in the energy yield between flat and tube collectors did not reflect much higher price of tube collectors.

Due to short period of measurement the advantages or disadvantages of some collectors could manifest during different time of year.

Keywords: Photothermal collector, solar energy, HDW heating

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

V Liberci 20. prosince 2006

.....
Jan Jabor

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec (TUL) is not interfering in my copyright by using my thesis for internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis.

Liberec December 20, 2006

.....
Jan Jabor

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mi umožnili studium a po celou dobu jeho trvání mě podporovali.

Obsah

Seznam použitého značení.....	6
1. Rozbor problematiky využití sluneční energie pro generování tepelné energie.....	8
1.1. Důvody pro využívání sluneční energie.....	8
1.2. Způsoby využití tepelné energie.....	10
1.2.1. Využití pro ohřev TUV.....	11
1.2.2. Využití pro ohřev vody v bazénech.....	12
1.2.3. Využití pro přitápění.....	12
1.2.4. Využití pro chlazení.....	13
1.2.5. Využití pro generaci technologického tepla.....	14
1.3. Budoucnost.....	14
2. Rešerše používaných solárních fototermálních kolektorů.....	15
2.1. Materiály pro výrobu kolektorů.....	15
2.2. Selektivní vrstvy.....	16
2.3. Typy kolektorů.....	17
2.3.1. Bazénové kolektory.....	17
2.3.2. Ploché kolektory.....	17
2.3.3. Trubicové kolektory.....	21
2.3.4. Koncentrační kolektory.....	23
2.3.5. Fasádní kolektory.....	23
2.3.6. Vzduchové kolektory.....	23
3. Experimentální měření na vybraných typech kolektorů v solární laboratoři KEZ.....	24
3.1. Měřené kolektory.....	24
3.1.1. Kolektory.....	24
3.2. Solární systém.....	27
3.2.1. Kolektorové pole.....	28
3.2.2. Solární nádrž s příslušenstvím.....	30
3.2.3. Řízení.....	32
3.2.4. Zkušební metody dle EN 12976.....	33
3.2.5. Venkovní zkouška účinnosti.....	33
3.2.6. Vnitřní zkouška účinnosti.....	34
3.2.7. Zkouška modifikátoru úhlu dopadu.....	35
3.2.8. Zkoušky mechanické odolnosti a spolehlivosti.....	35
3.3. Použitá měřicí zařízení.....	35
3.3.1. Měření výkonu jednotlivých kolektorů a celého systému - čidla (typ, vlastnosti, přesnost) a měřené parametry.....	35
3.3.2. Měření meteorologických veličin.....	36
3.4. Naměřená data – způsob ukládání.....	36
4. Naměřené hodnoty, vyhodnocení a porovnání jednotlivých typů kolektorů a jejich účinnostních charakteristik.....	37
4.1. Zkušenosti s uváděním laboratoře do provozu.....	37
4.2. Grafy účinnosti jednotlivých kolektorů, porovnání typů.....	38
4.2.1. Výběr dat pro tvorbu závislosti $\eta = f(x)$	39
4.2.2. NAU.....	41
4.2.3. NBC 18A.....	42
4.2.4. H300+H400V.....	43
4.2.5. SK500N.....	44
4.2.6. Reflex FSC 24 + GreenOneTec VK 25.....	44
4.2.7. 100 l,7 s.....	45

4.2.8.	200 D20 + 300 D20	46
4.3.	Chování solárního systému jako celku a solární nádrže	47
5.	Rozbor problematiky konstrukčního řešení slunečních kolektorů z hlediska jejich efektivnosti a pořizovací ceny	49
5.1.	Porovnání jednotlivých typů z hlediska poměru „cena/výkon“	49
5.2.	Vhodnost využití jednotlivých typů pro ohřev TUV a přitápění v ČR.....	53
5.3.	Návrh „ideálního“ kolektoru	54
5.4.	Ekonomika solárních systémů	55
6.	Závěr	59
	Seznam použité literatury	61
	Přílohy	62

Seznam použitého značení

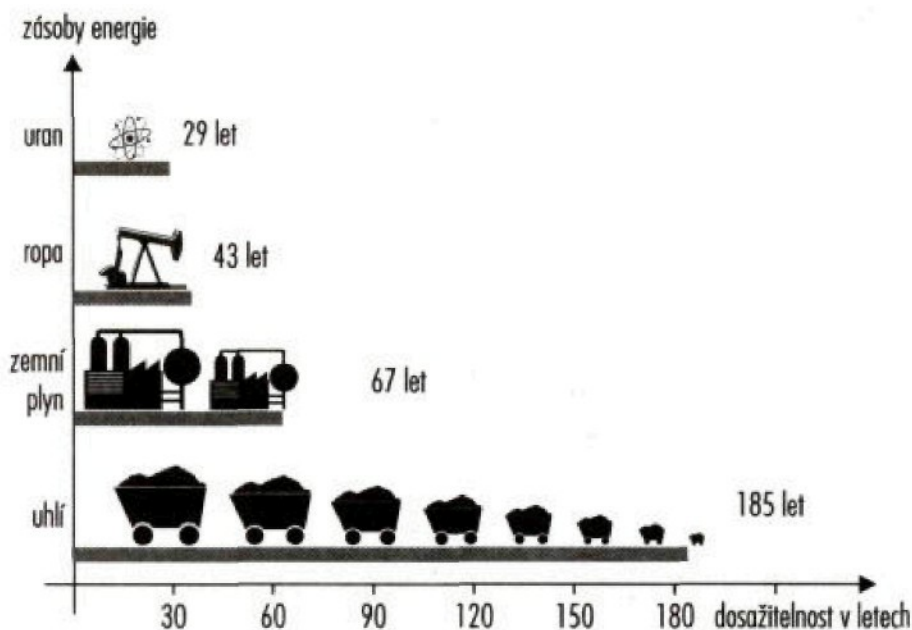
Značka	Význam	Jednotka
α	součinitel poměrné pohltivosti absorberu	[-]
ε	součinitel poměrné zářivosti	[-]
η	celková účinnost kolektoru	[-]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/(mK)]
ρ	střední hustota vody	[kg/m ³]
τ	propustnost slunečního záření zasklení kolektoru	[-]
τ_{skut}	poměrná doba slunečního svitu	[-]
A	plocha kolektorového pole	[m ²]
A_B	celková plocha bočních ploch kolektoru	[m ²]
A_C	plocha absorberu kolektoru	[m ²]
c_0	optická účinnost kolektoru	[-]
c_1	součinitel tepelných ztrát kolektoru	[W/(m ² K)]
c_2	součinitel zvýšení tepelných ztrát vlivem sálání	[W/(m ² K ²)]
c_p	měrná tepelná kapacita	[kJ/(kgK)]
F'	účinnostní součinitel kolektoru	[-]
G	globální sluneční ozáření v rovině kolektoru	[W/m ²]
$G_{\text{stř}}$	průměrné globální sluneční ozáření v rovině kolektoru za měsíc	[W/m ²]
i_D	počet dnů v měsíci	[-]
i_O	počet osob	[-]
K_θ	modifikátor úhlu dopadu	[-]
m	hmotnostní průtok teplotnosné kapaliny kolektorem	[kg/s]
M	hmotnost vody v akumulární nádrži	[kg]
P	výkon kolektorového pole	[kW]
Q	naměřený tepelný zisk kolektoru	[kW]
q	tepelný výkon kolektoru	[kJ/s]
Q_{SdenTeor}	průměrná energie dopadající za den	[kWh/m ²]
$Q_{\text{Směs}}$	skutečně získaná energie za měsíc	[kWh/m ²]
$Q_{\text{SměsTeor}}$	průměrná energie dopadající za měsíc	[kWh/m ²]
Q_U	teoreticky stanovený tepelný zisk kolektoru	[kW]
T_a	teplota okolního vzduchu	[°C]
T_{abs}	teplota absorberu	[°C]
T_{ass}	teplota okolního vzduchu v době slunečního svitu	[°C]
T_e	teplota teplotnosné látky na výstupu z kolektoru	[°C]
T_{in}	teplota teplotnosné látky na vstupu do kolektoru	[°C]
T_m	střední teplota teplotnosné látky v kolektoru	[°C]
T_s	teplota studené vody z vodovodního řádu	[°C]

T_{TUV}	teplota TUV	[°C]
U	celkový součinitel prostupu tepla kolektoru	[W/(m ² K)]
u	rychlost proudění vzduchu kolem kolektoru	[m/s]
U_b	součinitel prostupu tepla bočními stranami kolektoru	[W/(m ² K)]
U_p	součinitel prostupu tepla přední stranou kolektoru	[W/(m ² K)]
U_z	součinitel prostupu tepla zadní stranou kolektoru	[W/(m ² K)]
V	objem vody v akumulaci nádrži	[m ³]
V_{den}	spotřeba teplé vody jednoho člověka za den	[m ³]
x	redukovaný teplotní rozdíl	[(m ² K)/W]

1. Rozbor problematiky využití sluneční energie pro generování tepelné energie

1.1. Důvody pro využívání sluneční energie

Současná neustále stoupající spotřeba energie na Zemi je hrazena především z fosilních zdrojů. Tyto zásoby energie, ukládané po miliony let, dokázal člověk téměř vyčerpat za několik posledních desetiletí až století. Zbývající s jistotou těžitelné zásoby jsou patrné z **obr.1**. Z tohoto důvodu nezbývá nic jiného, než podstoupit následující kroky: snížit spotřebu energie a vyžívat obnovitelných zdrojů energie.



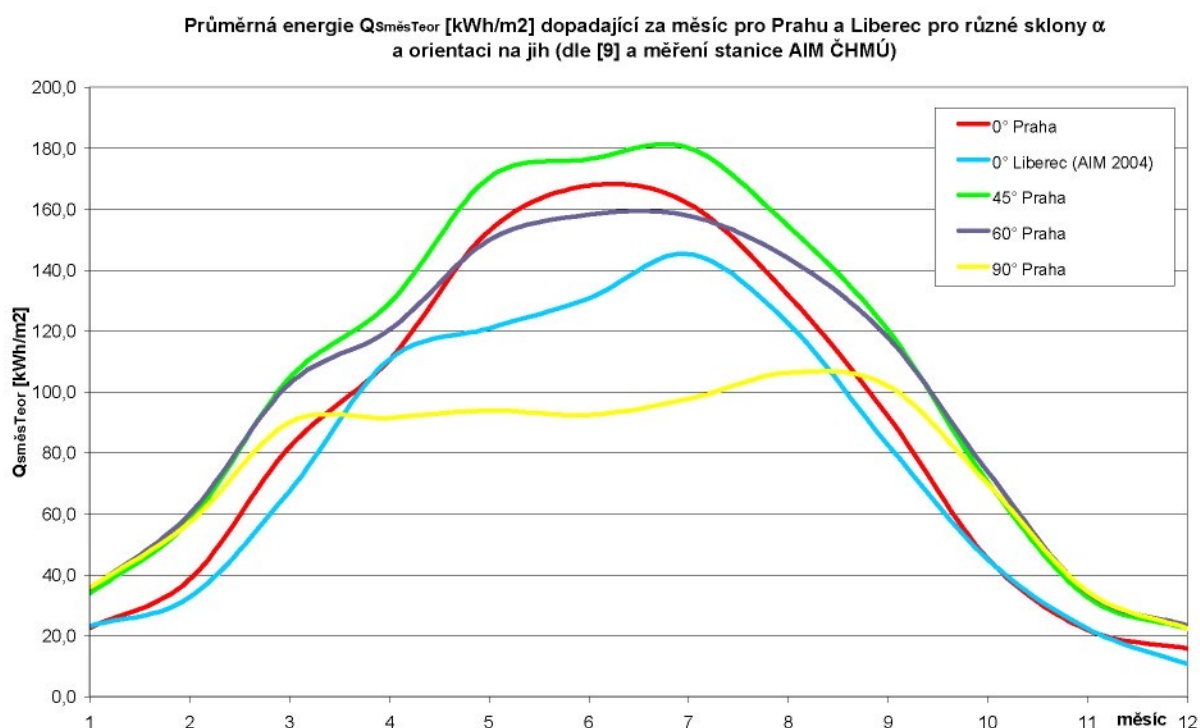
Obr. 1: S jistotou těžitelné zásoby zdrojů energie [8]

Masivní využívání fosilních paliv navíc trvale poškozuje životní prostředí, protože při jejich spalování vzniká velké množství skleníkových plynů, zejména CO_2 .

Sluneční záření lze využívat přímo a měnit ho v termických kolektorech na teplo, případně ve fotovoltaických článcích na elektřinu, nebo lze využít přírodní energii, která vzniká přeměnou sluneční energie. Toho využívají vodní, větrné a přílivové elektrárny, tepelná čerpadla nebo tepelné elektrárny spalující biomasu.

I když se dnes solární energie podílí na výrobě tepla pouze několika málo procenty, její podíl rychle roste. Přispívají k tomu zejména rostoucí ceny energie z klasických zdrojů a částečně i změna legislativy, například ve Švýcarsku musí každý majitel bazénu pokrývat část spotřeby tepla na ohřívání vody z obnovitelných zdrojů. Nejvíce se v dnešní době využívá sluneční energie v jižních státech, jako je Řecko, Kypr nebo Chorvatsko a to zejména z důvodu možnosti použití levnějších systémů s ohledem na množství slunečního záření a absenci zimních mrazů. Velice rychle se ale zvyšuje počet solárních aplikací i v Německu, Rakousku nebo Švýcarsku a to i díky výrazné státní podpoře. Vzhledem k příznivější pořizovací ceně vzniká stále více velkých solárních soustav, které slouží pro několik obytných domů nebo dokonce celá sídliště. A to jak pro přípravu teplé vody, tak pro vytápění.

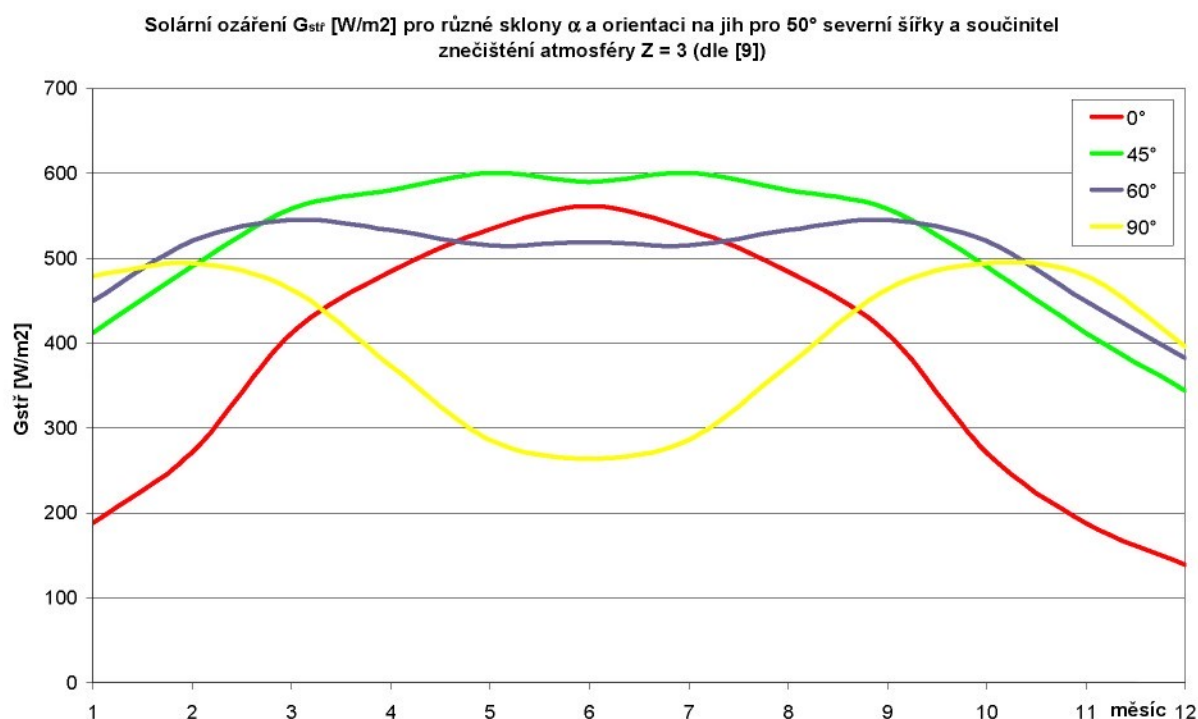
V našich podmínkách svítí slunce ročně 1400 až 1700 hodin a na jeden metr čtvereční dopadne za rok přibližně 1 100 kWh. Z těchto čísel je zřejmé, že je velice vhodné využít tohoto obrovského množství energie. Průměrná energie dopadající za měsíc v kWh/m² je patrná z **obr. 2**.



Obr. 2: Průměrná energie $Q_{\text{SměsTeor}}$ [kWh/m²] dopadající za měsíc pro Prahu a Liberec pro různé sklony α a orientaci na jih (dle [9] a měření stanice AIM ČHMÚ)

Zářením Slunce je na Zemi nepřetržitě přiváděn výkon $1,2 \cdot 10^{12}$ W, energie od Slunce na hranici atmosféry je přibližně 1360 W/m^2 a označuje se jako tzv. solární konstanta.

Průchodem atmosférou se část záření absorbuje, rozptyluje nebo odráží zpět, takže na zemský povrch dopadá záření méně. Celkové záření, nazývané globální, je možné rozdělit na přímé záření a difúzní záření, které - na rozdíl od přímého - nelze koncentrovat. Nekonzentrující sluneční kolektory dokáží využít obě tyto složky globálního záření. Podíl difúzního záření stoupá při rostoucí oblačnosti. Globální ozáření dosahuje za jasných letních dnů hodnot až kolem 1000 W/m^2 , ve dnech s velkou oblačností pouze 40 až 200 W/m^2 . Průměrné solární ozáření pro různé sklony plochy, na které záření dopadá, a pro orientaci na jih, jsou uvedeny v grafu na **obr. 3**.



Obr. 3: Průměrné globální solární ozáření G_{str} [W/m^2] v jednotlivých měsících pro různé sklony α a orientaci na jih pro 50° severní šířky a součinitel znečištění atmosféry $Z = 3$ (dle [9])

1.2. Způsoby využití tepelné energie

Sluneční energii dopadající na Zemi lze využít buď pasivně - vhodným architektonickým řešením staveb - nebo aktivně - pomocí slunečních kolektorů. Tato práce se zabývá pouze aktivními solárními systémy. Velkou nevýhodou při využití je, že potřeba tepla se většinou nekryje s jeho nabídkou. V zimním období, kdy je potřeba tepla na vytápění největší, je naopak nejméně slunečního svitu. Proto je nutno při návrhu a dimenzování solárních soustav zvolit správný stupeň pokrytí.

1.2.1. Využití pro ohřev TUV

Energie potřebná pro ohřev vody je během roku téměř konstantní. Kolektorová plocha se dimenzuje asi na 60% pokrytí během celého roku, aby nedocházelo k velikým přebytkům v létě a zbytečně nestoupala cena zařízení (za 100% pokrytí se považuje, pokud solární systém dokáže zajistit všechnu potřebnou energii po celý rok). V tomto případě lze počítat s plným pokrytím v letním období. Pokud uvažujeme teplotu studené vody ve vodovodním řadu 10 °C, musí soustava ohřát vodu nejméně o 35 °C, aby bylo dosaženo nejméně požadovaných 45 °C teplé vody. Teplota na výstupu z absorberu tak musí být v letním období asi o 40 až 70 °C vyšší než je teplota okolí. Orientačně se uvádí na 1 osobu 50 l teplé vody na den, 1 až 1,5 m² kolektorové plochy a objem 70 až 100 l zásobníku. Na ohřev TUV se užívá plochých nebo trubcových vakuových kolektorů.

Výpočet energie potřebné pro ohřev TUV pro jednu osobu za den je možné provést podle následujícího vzorce:

$$Q_{den} = V_{den} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{TUV} - T_s) / 3,6 \cdot 10^6 [kWh] \quad (1)$$

Vynásobením počtem osob a počtem dní v měsíci získáme celkovou energii potřebnou pro ohřev TUV pro jednotlivé měsíce. Energii, kterou je možné získat ze solárního systému je možno orientačně vypočíst z průměrné hodnoty solárního ozáření v daný měsíc jako:

$$Q_{Smes} = Q_{SmesTeor} \cdot \eta = Q_{SdenTeor} \cdot i_D \cdot \tau_{SKUT} \cdot \eta \quad [kWh / m^2] \quad (2)$$

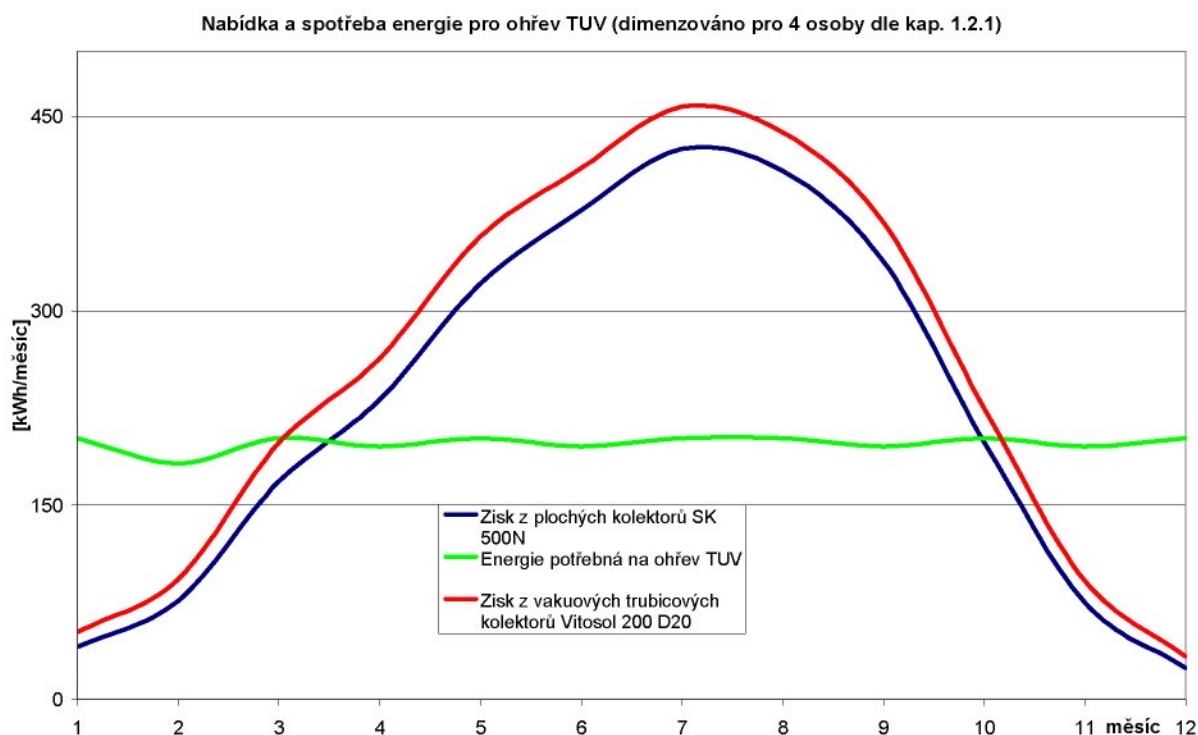
Kde η je střední hodnota účinnosti kolektoru v daném měsíci dle vzorce:

$$\eta = c_0 - c_1 \cdot x - c_2 \cdot x^2 \cdot G_{stř} \quad [-] \quad (3)$$

pro

$$x = (T_m - T_a) / G_{stř} \quad [(m^2K)/W] \quad (4)$$

Pro následující graf na **obr 4.** je uvažováno $T_m = 40$ °C, hodnoty $Q_{SdenTeor}$, $G_{stř}$ a T_a lze získat v literatuře (např. [9]) pro danou lokalitu, pro kterou se systém navrhuje.



Obr. 4: Nabídka a spotřeba energie pro ohřev TUV (dimenzováno pro 4 osoby dle kap. 1.2.1)

1.2.2. Využití pro ohřev vody v bazénech

Hlavní využití je při ohřevu bazénů v letním období, kdy je dostatek slunečního svitu. Jako tepelný zásobník slouží samotný bazén a jako teplotnosné médium bazénová voda. Kolektory se dimenzují až na 100 % pokrytí potřeby tepla. Na 1 m² plochy bazénu se orientačně uvádí 0,5 až 0,8 m² kolektorové plochy. Z 1 m² lze za rok získat asi 250 kWh energie [8]. Rozdíl mezi teplotou vody na výstupu z kolektoru a teplotou okolního vzduchu je 0 až 20 °C. K ohřevu vody v bazénech se využívají téměř výhradně jednoduché bazénové absorbéry, případně se využije letních přebytků tepla ze systému na ohřev TUV. V tomto případě se ale musí přidat výměník tepla, protože systém pro ohřev TUV používá jako teplotnosnou látku nemrznoucí médium.

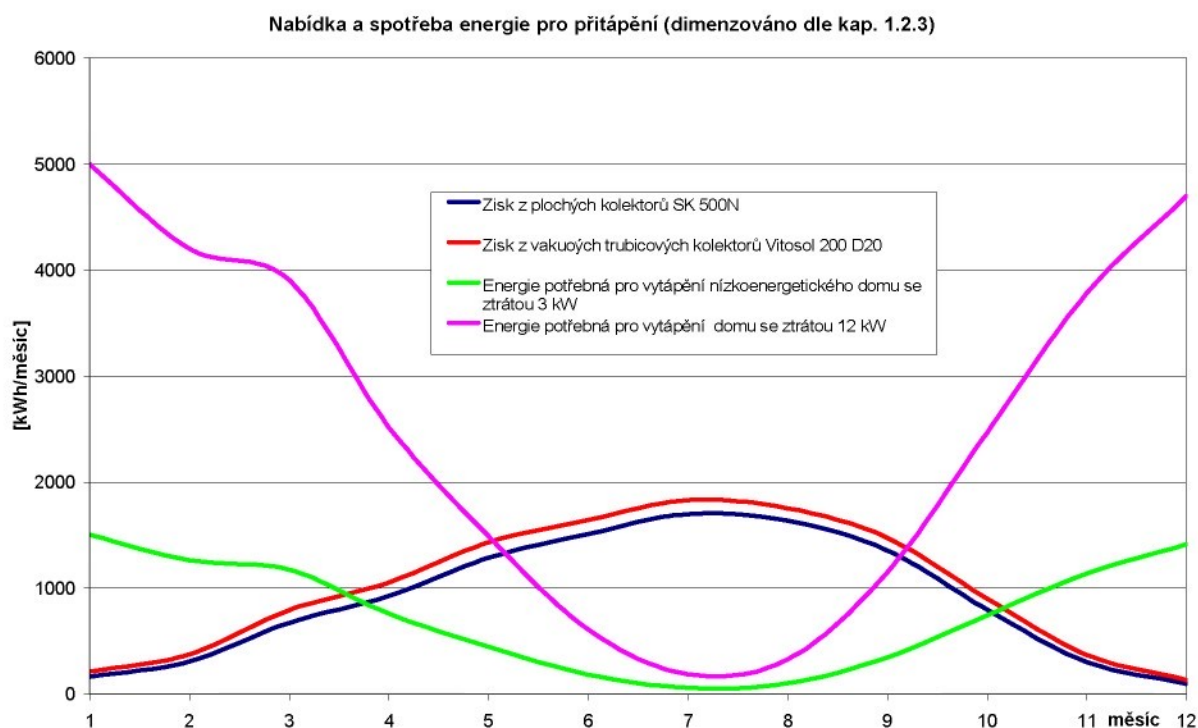
1.2.3. Využití pro přitápění

Pro využití solární energie pro přitápění se používá obdobných systémů jako pro ohřev TUV, ale s větší kolektorovou plochou a většími objemy zásobníků. Typický stupeň pokrytí se pohybuje kolem 20 až 30 %. V tomto případě stačí na pokrytí spotřeby rodinného domu plocha kolektorů 8 až 20 m² a objem zásobníku 600 až 2000 l. Pro větší stupeň pokrytí je

třeba uvažovat mnohem větší letní přebytky a počítat s dlouhodobou akumulací, kdy se energie uložená přes léto v zásobníku využije v zimě. Pak ovšem velmi vzroste objem zásobníku, a tím i jeho cena. Pro sezónní akumulaci se hodí spíše velké solární soustavy pro vytápění bytových domů nebo velkých sídlišť.

Typický průběh nabídky a spotřeby energie je patrný z grafu na **obr. 5**.

Při návrhu je třeba znát nejen předpokládané zisky solárního systému, ale i tepelné ztráty objektu v jednotlivých měsících v závislosti na střední průměrné venkovní teplotě v daném měsíci. Výpočet zisků se pak provádí obdobně jako u výpočtu ohřevu TUV v kap. 1.2.1.



Obr.5: Nabídka a spotřeba energie pro přitápění (dimenzováno dle kap. 1.2.3)

1.2.4. Využití pro chlazení

Využití solárních zisků pro chlazení a klimatizaci může být cestou, jak využít případné letní přebytky tepla ze solárního systému. Systémy solárního chlazení lze rozdělit na elektricky poháněné a teplem poháněné. Elektricky poháněné chladicí systémy jsou náročné na spotřebu energie a je třeba velké plochy drahých fotovoltaických článků. Teplem poháněné systémy mají spotřebu elektřiny velmi malou, většinou jen pro pohon oběhového čerpadla. Teplo se může využít buď pro termomechanickou přeměnu (např. ve Stirlingově motoru) nebo v uzavřeném či otevřeném chladicím cyklu. Uzavřený systém vyžaduje vyšší vstupní

teplotu ze solárního kolektoru než systém otevřený, ale na výstupu lze dosáhnout nižších teplot.

Většinu rozšíření chladících systémů brání zatím vysoká cena zejména u malých zařízení.

1.2.5. Využití pro generaci technologického tepla

Pro výrobu technologického tepla o vysoké teplotě se využívají koncentrační kolektory. S jejich pomocí se dá dosáhnout teplot 80 až téměř 3200 °C. V ohnisku koncentračního kolektoru se vytváří buď pára, kterou lze použít přímo pro průmyslovou výrobu nebo pro generaci elektrické energie v turbíně, případně se do ohniska umístí fotovoltaický článek nebo Stirlingův motor, které generují elektrickou energii. Příkladem solárních elektráren jsou dvě zařízení v Mohavské poušti v USA. Dochází v nich k roztavení soli až na 574 °C a následně se horká sůl použije k výrobě páry z vody a konvenční přeměně na elektřinu v turbíně. Jiné využití má tzv. solární pec v Pyrenejích. 63 zrcadel o ploše 2835 m² vytváří v ohnisku teplotu až 3200 °C. Vysoká teplota slouží např. k testování chování různých materiálů za vysokých teplot a v čistém prostředí.

1.3. Budoucnost

Vzhledem ke stoupajícím cenám energií lze v budoucnosti počítat s velkým rozšiřováním používání obnovitelných zdrojů energie, tedy i fototermálních kolektorů. V našich podmínkách lze bez přehnaných nákladů zrealizovat ohřev TUV, využití pro přitápění je výhodné hlavně u nových energeticky úsporných domů. Velkou rychlostí roste již dnes počet velkých solárních soustav pro bytové domy nebo dokonce celá sídliště. Cena takovýchto projektů je mnohem výhodnější než u malých soustav. Často je projekt doplněn o sezónní akumulaci. Vzhledem k celosvětovému odklonu od jaderné energetiky a docházejícím zásobám fosilních paliv je třeba hledat i cesty, jak v budoucnu zajistit výrobu elektřiny. Protože ceny fotovoltaických článků jsou stále vysoké, vznikají projekty, které nejčastěji využívají klasické parní turbíny a generátory elektrického proudu. Jako v současnosti nejnadějnější se jeví projekt Solar Tower. Má se jednat o elektrárnu o výkonu 200 MW, která bude tvořena kruhovým solárním vzduchovým kolektorem o průměru 5 km na ploše přes 19,5 mil m². Uprostřed kolektoru vyrobeného ze skla tloušťky 4 mm bude komín o průměru 130

m a výšce 1000 m, v jehož patě bude umístěno 32 turbin. Uvažuje se též o celodenní akumulaci. Od roku 1982 funguje ve Španělsku menší ověřovací projekt obdobné konstrukce s výkonem 50 kW.

2. Rešerše používaných solárních fototermálních kolektorů

2.1. Materiály pro výrobu kolektorů

Všechny materiály použité na výrobu kolektorů musí odolávat působení povětrnostních vlivů a vlivu teplotnosné kapaliny, umožňovat vysoký výkon a dlouhou životnost a současně musí být levné, aby byly kolektory schopné cenově konkurovat klasickým zdrojům tepla. Materiály je nutné volit i s ohledem na „šedou energii“ která se musí vynaložit při výrobě materiálu.

Tzv. energetická amortizace materiálů udává dobu, za kterou vyrobí kolektor tolik energie, kolik je potřeba na jeho výrobu. Z tohoto pohledu jsou jednoznačně výhodnější vakuové trubicové kolektory, na jejichž výrobu se využívá zejména materiál s malou specifickou spotřebou energie (viz **tab.1**)

	specifická spotřeba energie [kWh/kg]	Plochý kolektor s hliníkovým rámem a Cu absorbérem, 6m ² [kg/m ²] [kWh/m ²]		Vakuový trubicový kolektor, HeatPipe, 5m ² [kg/m ²] [kWh/m ²]	
sklo	4,1	8,1	33,2	13,2	54,1
hliník	41,3	3,4	140,3	-	-
ocel	7,0	1,2	8,4	9,1	63,7
měď	12,5	4,2	52,5	1,1	13,8
PU	29,1	2,6	75,7	-	-
EPDM-kaučuk	26,2	0,5	13,1	0,4	10,5
minerální vata	3,4	1,4	4,8	-	-
polyamid	47,2	-	-	0,3	14,2
celkem		21,4	328,1	24,1	156,3

Tab.1: Spotřeba primární energie na výrobu kolektoru včetně upevnění [8]

Energetická návratnost plochého kolektoru vychází pak na 4 až 16 měsíců a u vakuového trubicového kolektoru na 2 až 5 měsíců [8]. Z tohoto důvodu se ustupuje od

použití hliníku ve prospěch oceli, plastických hmot nebo dřeva, protože na jejich výrobu se spotřebuje mnohem méně energie. Ze stejného důvodu stále více výrobců přechází při povrstvování absorbérů na mnohem energeticky úspornější vakuové nanášení místo galvanického.

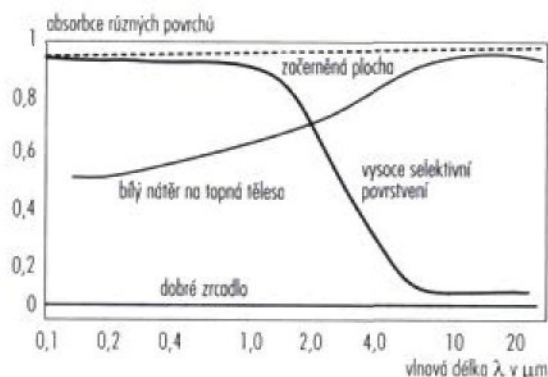
Životnost kolektorů se projektuje na 20 až 25 let i více.

2.2. Selektivní vrstvy

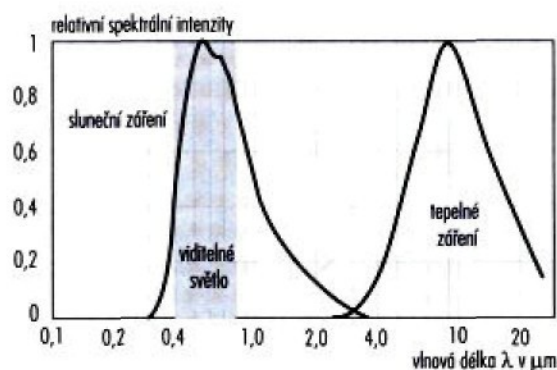
Selektivní vrstvy jsou povrchové úpravy absorbérů, které v oblasti viditelného světla dobře absorbují, ale v oblasti tepelného záření mají velmi malou emisivitu. Špičková povrstvení dnes dosahují součinitele poměrné pohltivosti $\alpha = 0,95$ a součinitele poměrné zářivosti $\varepsilon = 0,05$. Selektivní vrstvy jsou vyráběny pod mnoha obchodními názvy, např. Sol-Titan, Tinox, Solar Black, Sunstrip atd. Většinou se ale chemicky jedná pouze o několik málo typů povrstvení. Používá se např. černý chrom na poniklovaném povrchu, černý nikl, případně borid hlinitý AlB_2 . Vrstvy se dají nanášet mokrou cestou, tedy galvanicky, nebo suchou cestou vakuovým nanášením, natryskáním nebo např. plazmou. Suché cesty jsou ekologicky výhodnější, protože se na jejich výrobu spotřebuje méně než desetina energie potřebná na galvanické nanášení [8] a nevznikají jedovaté výpary a těžké kovy.

Protože se stále častěji kolektory integrují přímo do obálky budovy, někteří výrobci se snaží vyvinout barevná povrstvení. Zde je ovšem třeba dávat pozor, aby příliš neklesl součinitel pohltivosti α a nevzrostl součinitel poměrné zářivosti ε .

Selektivní vrstvy se někdy u levných kolektorů nahrazují pouze natřením černou matnou barvou, která má ovšem velkou emisivitu v celém rozsahu vlnových délek a takto upravený absorbér má velké ztráty tepelným sáláním.



Obr.6: Absorpce různých povrstvení [8]



Obr.7: Relativní spektrální rozdělení solárního záření a tělesa [8]

2.3. Typy kolektorů

2.3.1. Bazénové kolektory

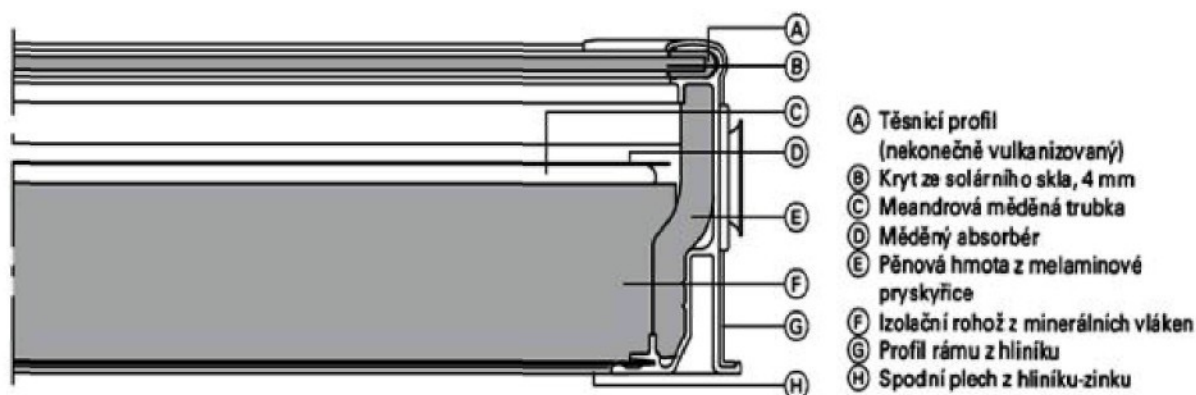
Hlavní využití je při ohřevu bazénů v letním období, kdy je dostatek slunečního svitu. Vyrábí se teplo na nízké teplotní úrovni, teplota ohřívaného média je maximálně o 20 °C vyšší než je teplota okolního vzduchu. Z tohoto důvodu není nutné zabývat se izolací, protože ztráty jsou poměrně malé. Při konstrukci je třeba brát ohled hlavně na nízkou cenu, antikorozi odolnost (i při užití chlorované vody) a odolnost vůči venkovnímu tepelnému zatížení (-20 až +80 °C). Naopak odolnost vůči zamrznutí kapaliny v absorberu se většinou nepožaduje, protože bazénové absorbery jsou v provozu pouze v letním období a na zimu se z nich kapalina vypouští. Materiály by měly mít dobrou tepelnou vodivost a absorpci záření. Jako teplotnosné médium se využívá přímo bazénové vody.

Pro konstrukci se používají výhradně plastické hmoty, nejčastěji polyethylen, polypropylen a syntetický kaučuk EPDM. Tvary absorberů jsou nejrůznější, vždy je třeba brát ohled na to, aby byla teplotnosným médiem ochlazována co největší plocha. Často se bazénové absorbery vyrábí jako pochůzné, aby se daly položit na zem vedle bazénu.

2.3.2. Ploché kolektory

Ploché kolektory se skládají z absorberu uzavřeného do rámu a opatřené na přední straně transparentní izolací. Zadní a boční stěny jsou odizolovány pro co nejnižší ztráty. Plochý kolektor je schopen ohřívat teplotnosné médium na teplotu o 40 až 60 °C vyšší, než je teplota okolního vzduchu. Stagnační teplota plochých kolektorů se pohybuje kolem 200 °C. Kolektory se vyrábí ve velikostech od 1 do 2,5 m² s ohledem na přijatelnou hmotnost a jednoduchou montáž na střechu. Pokud se zasklení provádí až na střeše, lze vyrábět velkoplošné kolektory o ploše až 12 m² [8].

Slovenský výrobce Thermosolar vyrábí speciální druh plochého kolektoru s vakuovou izolací (označení kolektoru je H400V). Izolace boční a zadní stěny je nahrazena vakuem (resp. nízkým tlakem 1 až 100 mbar). Výhodou je snížení množství spotřebovaného materiálu a nižší tepelné ztráty kolektoru. Tento kolektor je též součástí laboratoře na TU Liberec.



Obr.8: Řez plochým kolektorem

2.3.2.1. Absorbéry

Absorbéry plochých kolektorů se vyrábí z hliníku, mědi nebo oceli, mohou být provedeny jako deskové nebo lamelové. Na absorbér jsou naletovány trubky, kterými proudí teplotné médium, případně jsou trubky nahrazeny vytlisovanými kanálky. Při tomto uspořádání je třeba brát ohled na dostatečnou odolnost proti tlaku kapaliny. Tvar kanálků může být proveden jako meandr nebo registr vždy s ohledem na rovnoměrné rozdělení teplot. Absorbér je povrchově upraven pro zlepšení absorpce a snížení emisivity selektivním povrstvením, v případě levných kolektorů i jen černou barvou.

2.3.2.2. Transparentní izolace

Transparentní kryty přední strany plochého solárního kolektoru musí splňovat současně dvě rozdílné funkce - být co nejvíce propustné pro sluneční záření a současně zadržet co nejvíce tepelného záření z kolektoru, a zabránit tak nadměrným ztrátám. Tepelná ztráta přední stranou kolektoru tvoří až 80 % celkových ztrát [6]. Současně je požadována vysoká odolnost proti vnějším vlivům a proti vysokým teplotám a dlouhá životnost beze změn parametrů. Izolace mohou být provedeny z různých materiálů, nejčastěji se jedná o sklo, v menší míře o plastové materiály.

2.3.2.2.1 Skleněné kryty

Skleněné kryty mají nejlepší optické vlastnosti, ale v podobě jednoskla mají poměrně velké tepelné ztráty. Proto se někdy používá vícenásobného zasklení, ale v tomto případě

klesá optická účinnost s každým dalším rozhraním asi o 5 % [6], roste cena a hmotnost kolektoru. Tepelný odpor se dá dále zvýšit přidáním průhledné fólie (Teflon, PTFE) z vnitřní strany skla. Tabule se vyrábí z bezželeznatého bezpečnostního skla tloušťky 3 až 6 mm. Sklo má výbornou odolnost vůči vysokým teplotám a stárnutí. Propustnost zasklení τ_n je přibližně 0,9 a součinitel prostupu tepla $U = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [6] (při tloušťce 4 mm).

2.3.2.2.2 Plastové kryty

Plastové kryty mají oproti skleněným výhodu v menším součiniteli prostupu tepla, nižší hmotnosti a výrobní ceně. Naopak mají horší optickou účinnost, nižší odolnost proti povětrnostním vlivům a vysoké teplotě.

Komůrkové struktury

Tyto struktury vznikají paralelním znásobením vzduchových mezer mezi několika zaskleními. Roste odpor, ale i optické ztráty. Příkladem tohoto zasklení je Lexan Thermoclear (**obr.9**). Jedná se o šestinásobné zasklení z polykarbonátu. Výrobce udává $\tau_n = 0,66$, při $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.



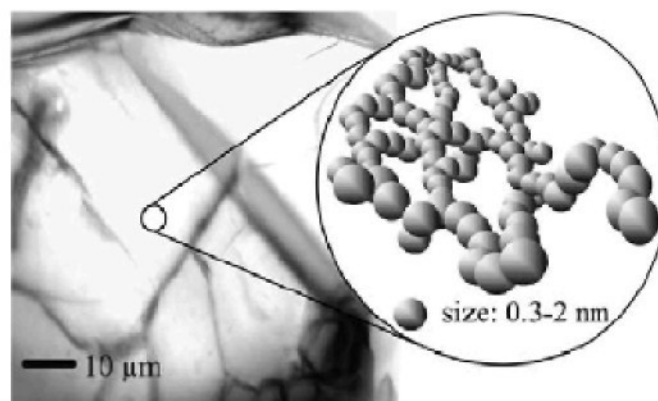
Obr. 9: Lexan Thermoclear

Voštinové struktury

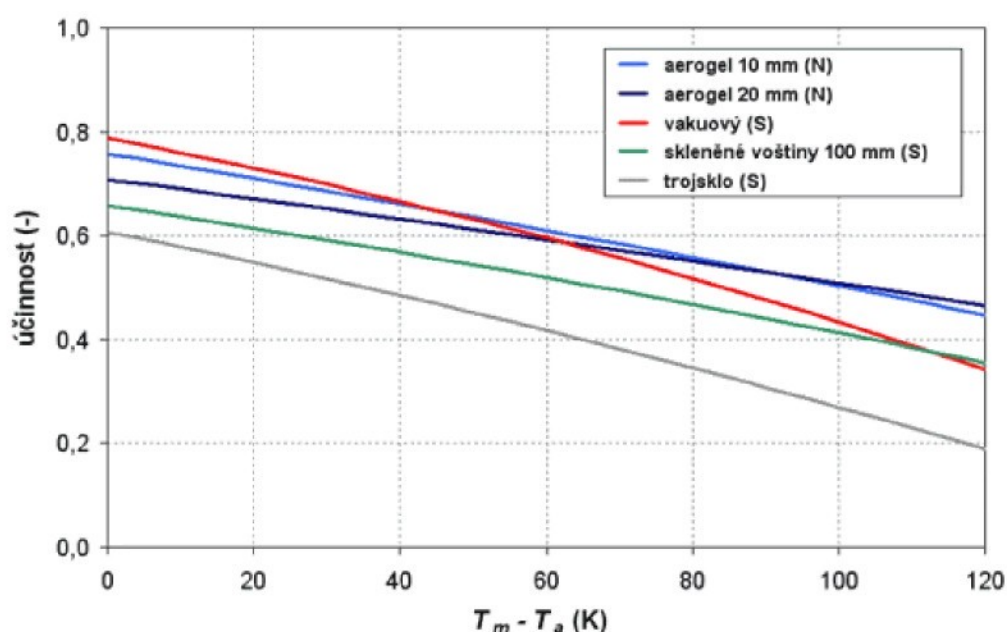
Jedná se o kapilární struktury mezi dvěma deskami orientované kolmo na absorbér. Paprsek se odráží ve voštině směrem k absorbérovi bez optických ztrát. Příkladem jsou tabule z materiálu Okalux Kapipane. Desky jsou vyrobeny z polymethylmetakrylátu. Pro tloušťku 40 mm má materiál následující parametry: $\tau_n = 0,80$, při $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ovšem při tloušťce 122 mm klesne součinitel prostupu tepla až na $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, při poklesu propustnosti pouze na $\tau_n = 0,77$ [6].

2.3.2.2.3 Aerogel

Velkým příslibem do budoucna je tzv. aerogel. Jedná se o mikroporézní látku na bázi oxidu křemičitého SiO_2 . Jedná se o látku s minimální hustotou (obsahuje přes 99 % vzduchu) a vysokou izolační schopností (součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,017 \text{ W/(mK)}$). Propustnost pro sluneční záření je přibližně $\tau_n = 0,9$. Aerogel se vyrábí vysoušením roztoku SiO_2 v alkoholu za velmi vysokých teplot a tlaků tak, aby nedošlo k narušení struktury držící pohromadě mezimolekulárními silami. Tento způsob je velmi finančně náročný a doposud nikdo nezačal s průmyslovou výrobou. V praxi se aerogel užívá např. v kosmickém výzkumu. Další nevýhodou je velká afinita vůči vodě, proto se musí aerogel hermeticky zasklít, aby nedošlo k přeměně zpět na gel.



Obr. 10: Mikrostruktura aerogelu SiO_2 [7]



Obr. 11: Standardní křivky účinnosti solárních kolektorů s různým zasklením [6]

2.3.2.3. Izolace boků a zadní části kolektoru

Izolace boků a zadní části kolektoru je důležitá k minimalizaci tepelných ztrát kolektoru. Izolace musí odolávat vysokým teplotám vzniklým při chodu naprázdno. Nejčastěji se kolektor izoluje minerální nebo skelnou vlnou, vhodná je též polyuretanová pěna, která kolektor navíc vyztuží, ale musí se opatřit tepelně odolnou mezivrstvou, protože samotná pěna není schopna odolávat tak vysokým teplotám.

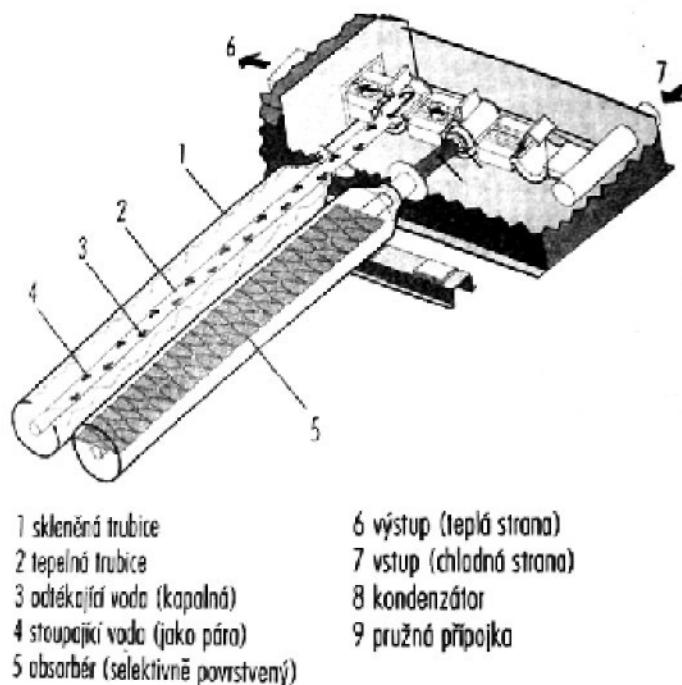
2.3.2.4. Skříň kolektoru

Skříň chrání vnitřní části kolektoru před poškozením a umožňuje jeho montáž na střechu nebo fasádu. Skříň může být buď uzavřená ve tvaru vany nebo pokud je kolektor určen pro integraci do střechy nebo fasády, může mít jen tvar rámu se zadní stranou otevřenou. Z materiálů se nejčastěji používá hliník, ocelový plech, případně plast. Pro konstrukci otevřeného rámu je vhodné dřevo.

2.3.3. Trubicové kolektory

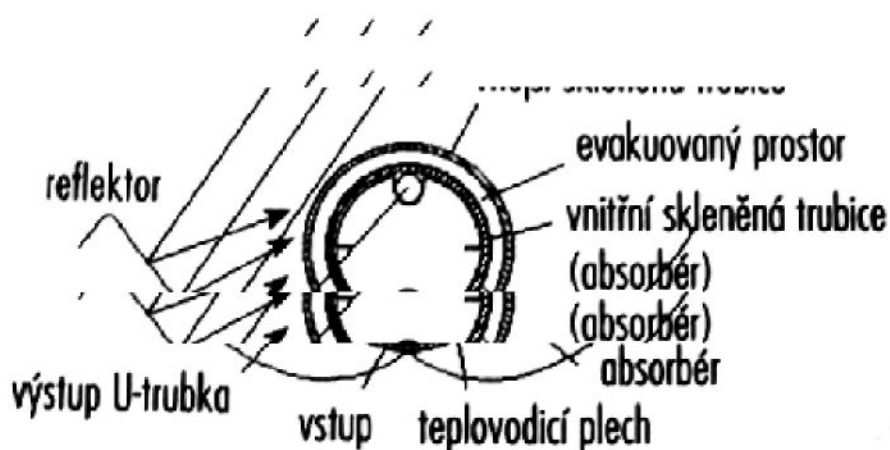
Protože velkou část ztrát kolektoru způsobuje konvekce, dají se tyto ztráty snížit odstraněním vzduchu z kolektoru. Funkci tepelné izolace kolektoru přebírá místo izolačních materiálů vakuum. Protože je vakuový kolektor velice namáhán atmosférickým tlakem vzduchu, má vždy tvar trubice (jedinou výjimkou je plochý kolektor Thermosolar H400V, viz. kap. 3.1.1.4). Trubice může být buď jednostěnná nebo tvořena tzv. Sydney trubicí. Sydney trubice je dvojitá trubice, jejíž konec je k sobě navařen a mezi trubkami je vakuum. Tato konstrukce vyžaduje sice dvojitý prostup záření skrz sklo, který způsobuje větší optické ztráty, ale velkou výhodou je snadná výměna poškozených trubíc a odpadají problémy s těsněním v místě průchodu trubky s kapalinou skrz skleněnou trubicí.

V trubicích je vložen absorbér ve tvaru lamely, na který je navařena trubka s teplotonosnou kapalinou. Trubky mohou být přímo protékané nebo na tzv. principu Heat Pipe. V tomto případě je trubice naplněna kapalinou s nízkým bodem varu, nejčastěji alkoholem. Kapalina se vypařuje, v horní části kolektoru předává teplo teplotonosnému médiu solárního okruhu, kondenzuje a stéká zpět do spodní části kolektoru. Protože je Heat Pipe trubice napojena „nasucho“, lze ji v případě poškození vyměnit, aniž by se musel solární systém vypouštět.



Obr.12: Vakuový trubicový kolektor pracující na principu Heat Pipe [8]

Někdy bývá doplněn kolektor o zrcadla, která koncentrují záření a zvětšují tak plochu apertury. Příkladem tohoto kolektoru je GreenOneTec VK 25, umístěný také v laboratoři na TU Liberec. Za trubicemi je umístěné parabolické zrcadlo, které koncentruje záření na absorbér.



Obr. 13: Sydney trubice s parabolickým zrcadlovým reflektorem [8]

Materiály pro výrobu vakuových kolektorů jsou obdobné jako pro výrobu plochých kolektorů. Absorbéry jsou měděné nebo hliníkové se selektivním povrstvením, trubice z borosilikátového skla tloušťky 1,5 až 3 mm. Trubice jsou umístěny na rámu, který bývá zpravidla hliníkový nebo ocelový

Vakuové trubicové kolektory mají oproti plochým většinou vyšší optické ztráty, jsou dražší, ale díky menším tepelným ztrátám mnohem účinněji pracují za těžších povětrnostních podmínek, zejména při nízkých teplotách okolního vzduchu. Proto jsou vhodné i pro přitápění v zimním období.

2.3.4. Koncentrační kolektory

Koncentrační kolektory jsou odlišné tím, že využívají pouze přímé záření, které koncentrují zrcadly nebo čočkami do ohniska. V ohnisku lze potom dosáhnout velmi vysokých teplot – i více než 2000 °C. Proto lze využít tento typ kolektorů pro výrobu technologického tepla, viz kap. 1.2.5. Často se používá otočná optika, aby se optimalizovala koncentrace záření v průběhu dne a během roku.

Za koncentrační kolektor lze považovat i např. trubicový vakuový kolektor GreenOneTec VK 25, použitý v laboratoři na TUL. Parabolická zrcadla zřetelně zvětšují plochu apertury, tedy plochy ze které může kolektor využívat sluneční záření.

2.3.5. Fasádní kolektory

Fasádní kolektory jsou v podstatě stejné kolektory jako výše jmenované, ovšem jsou uzpůsobeny k instalaci do fasády budovy. Výhodou je jednodušší konstrukce, nižší cena a možnost architektonického včlenění do budovy. Nevýhodou je zejména to, že kolektor je zpravidla umístěn svisle, takže má největší účinnost v zimním období, zatímco v létě, kdy je Slunce vysoko, jsou zisky malé. Z tohoto důvodu je vhodné využít fasádní kolektory pro přitápění.

2.3.6. Vzduchové kolektory

Vzduchové kolektory jsou podobné konstrukce jako ploché kapalinové kolektory, ale jako teplotonosné médium se užívá vzduch. Mohou být provedeny jako fasádní i střešní.

Vzduch má oproti vodě bohužel malou tepelnou kapacitu a tepelnou vodivost, proto je potřeba velké množství a tím stoupají nároky na potrubí a ventilátory. Vzduchové kolektory se většinou využívají ve velkých halách se vzduchovým vytápěním nebo v zemědělství k sušení různých plodin.

3. Experimentální měření na vybraných typech kolektorů v solární laboratoři KEZ

3.1. Měřené kolektory

V současné době je součástí solární laboratoře na TU Liberec 10 kolektorů různých typů od různých výrobců. Jedná se zřejmě o nejvíce rozličných typů kolektorů na jednom místě v ČR. Solární laboratoř slouží k testování slunečních kolektorů, jednotlivých komponent a celých solárních systémů. Součástí laboratoře je také meteorologická stanice, která sleduje vnější klimatické podmínky, za kterých solární zařízení pracují. Výsledky měření budou sloužit k propagaci čisté energie a k jednotlivým konkrétním cílům.

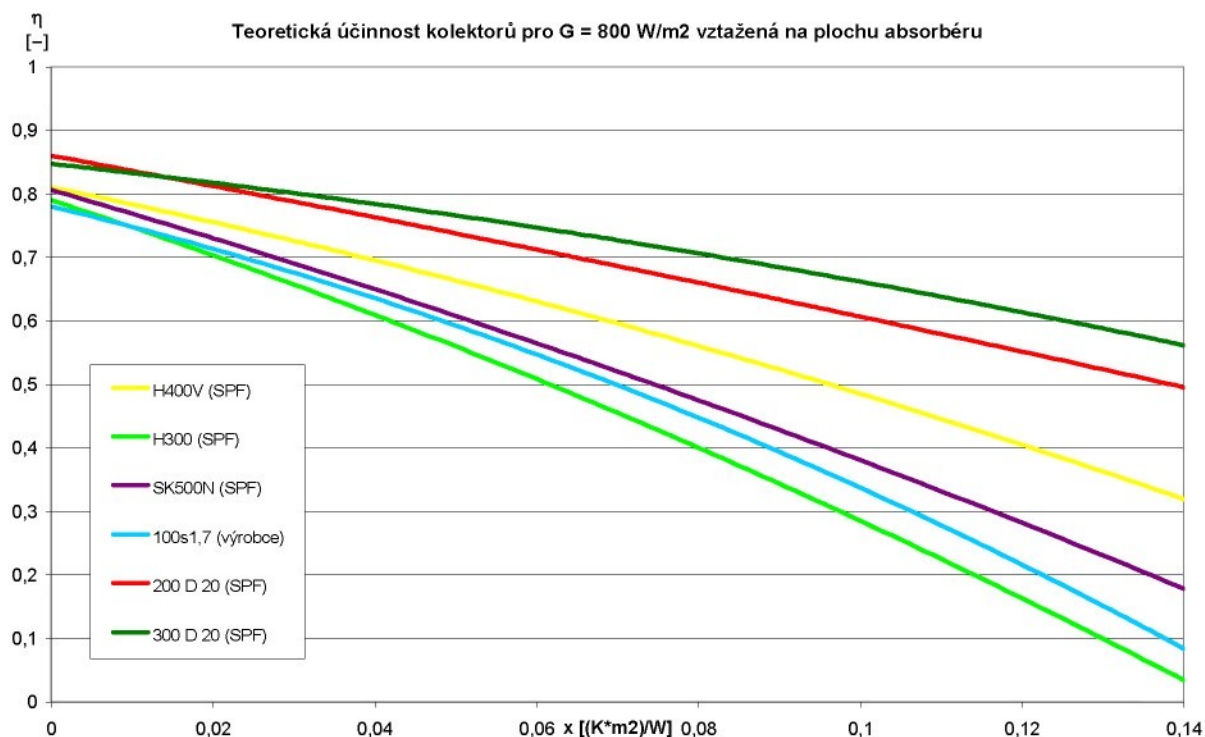
3.1.1. Kolektory

Parametry všech kolektorů jsou uvedeny v tabulce v **příloze č. 1**.

Mnohé z kolektorů použitých v solární laboratoři na TU Liberec již testoval Solární zkušební institut SPF ze švýcarského Rapperswillu. Teoretické křivky účinnosti naměřené ve tvaru

$$\eta = c_0 - c_1 x - c_2 G x^2 \quad (5)$$

pro ozáření $G = 800 \text{ W/m}^2$ jsou uvedeny grafu na **obr. 14**. Parametry c_0 , c_1 , c_2 jsou naměřeny při testech institutu SPF, pouze u kolektoru Viessmann Vitosol 100 1,7 s jsou to parametry uvedené výrobcem.



Obr. 14: Teoretická účinnost kolektorů pro $G = 800 \text{ W/m}^2$ vztažená na plochu absorberu

3.1.1.1. NAU

Kolektor je klasické ploché konstrukce, materiály jsou voleny s důrazem na co nejnižší cenu. Absorbér o ploše $2,43 \text{ m}^2$ je hliníkový, povrchově upravený pouze černou barvou. Dnes se již tento typ nevyrábí.

3.1.1.2. Reflex NBC 18A

Tento kolektor patří mezi levnější ploché kolektory. Měděný absorbér je upraven pouze černou solární barvou, konstrukce rámu je z hliníku. Celková plocha kolektoru je $1,824 \text{ m}^2$, absorpční $1,57 \text{ m}^2$. Cena kolektoru je 5950 Kč bez DPH.

3.1.1.3. Thermosolar H300

Tento plochý kolektor má skříň vylisovanou z Al-Mg plechu, z téhož materiálu je i absorbér o ploše $1,742 \text{ m}^2$, který je povrchově upraven vysoce selektivní vrstvou na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním niklem, zasklení je provedeno solárním sklem tloušťky 4 mm. Cena kolektoru je přibližně 8400 Kč bez DPH.

3.1.1.4. Thermosolar H400V

Jedná se o speciální druh plochého kolektoru s vakuovou izolací. Izolace boků a zadní části kolektoru je nahrazena vakuem, resp. podtlakem 1 až 100 mbar, který je dosahován vypumpováním vzduchu při montáži, případně i později během provozu. Konstrukce vychází k kolektoru H300. Mezi přední sklo a rám kolektoru musí být vložen rastr z ocelových kolíků, který brání kolektor před poškozením atmosférickým tlakem. Výrobce udává o 20 až 30 % vyšší než u klasického nevakuového provedení. Vana kolektoru je z Al-Mg slitiny, absorbér o ploše 1,717 m² upraven vysoce selektivní vrstvou na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním niklem. Cena tohoto kolektoru je přibližně 14 200 Kč bez DPH.

3.1.1.5. Sonnenkraft SK 500N

Kolektor rakouského výrobce je jedním z nejpoužívanějších kolektorů. Je klasické konstrukce s vanou z hliníku, izolovanou 50 mm minerální vaty, a měděným strukturovaným absorbérem. Absorbér je povrchově upraven vysoce selektivní vakuově nanášenou vrstvou TiNox a chráněn zepředu solárním bezpečnostním sklem tloušťky 4 mm. Plocha absorbéru je 2,17 m². Cena kolektoru je pohybuje kolem 14 900 Kč bez DPH.

3.1.1.6. Reflex FSC 24

Reflex FSC 24 je deskový solární kolektor s konstrukcí z hliníku. Měděný absorbér je oproti levnějšímu typu NBC 18 A stejného výrobce povrchově upraven selektivní vrstvou TiNox. Tím je dosažen příznivější součinitel poměrné zářivosti $\varepsilon = 0,11$ (NBC 18A dosahuje pouze hodnoty $\varepsilon = 0,35$). Plocha absorbéru je 2,14 m². Doporučená cena kolektoru je 13 490 Kč bez DPH. Kalorimetr příslušící k tomuto kolektoru byl poškozen, proto na kolektoru nebylo měření prováděno.

3.1.1.7. GreenOneTec VK 25

VK 25 je vakuový trubicový kolektor s 12 trubicemi o absorpční ploše 2,36 m². Velké plochy absorbéru je dosaženo použitím válcového celoměděného absorbéru s vysoce selektivním povrstvením. Trubice z borosilikátového skla jsou dvouplášťové (systém Sydney)

a proto jdou v případě poškození lehce vyměnit. Zvláštností oproti ostatním vakuovým trubicovým kolektorům je přítomnost parabolických zrcadel CPC za trubicemi, která koncentrují záření a zvětšují tak významně plochu apertury. Další výhodou by měl být vyšší zisk i při šikmém dopadu záření. Složitější konstrukce kolektoru se odrazila na ceně, která je 34900 Kč bez DPH. Kalorimetr příslušící k tomuto kolektoru byl poškozen, proto na kolektoru nebylo měření prováděno.

3.1.1.8. Viessmann Vitosol 100 1,7 s

Jedná se o plochý kolektor s aperturou o velikosti $1,7 \text{ m}^2$. Absorbér s plochou $1,61 \text{ m}^2$ je upraven selektivní sol-titanovou vrstvou, na absorbér je přivařen meandr z měděné trubky. Kolektor je krytý nízkoželeznatým solárním sklem tloušťky 4 mm. Dnes se vyrábí pouze obdobný typ s plochou absorbéru $2,5 \text{ m}^2$.

3.1.1.9. Viessmann Vitosol 200 D20

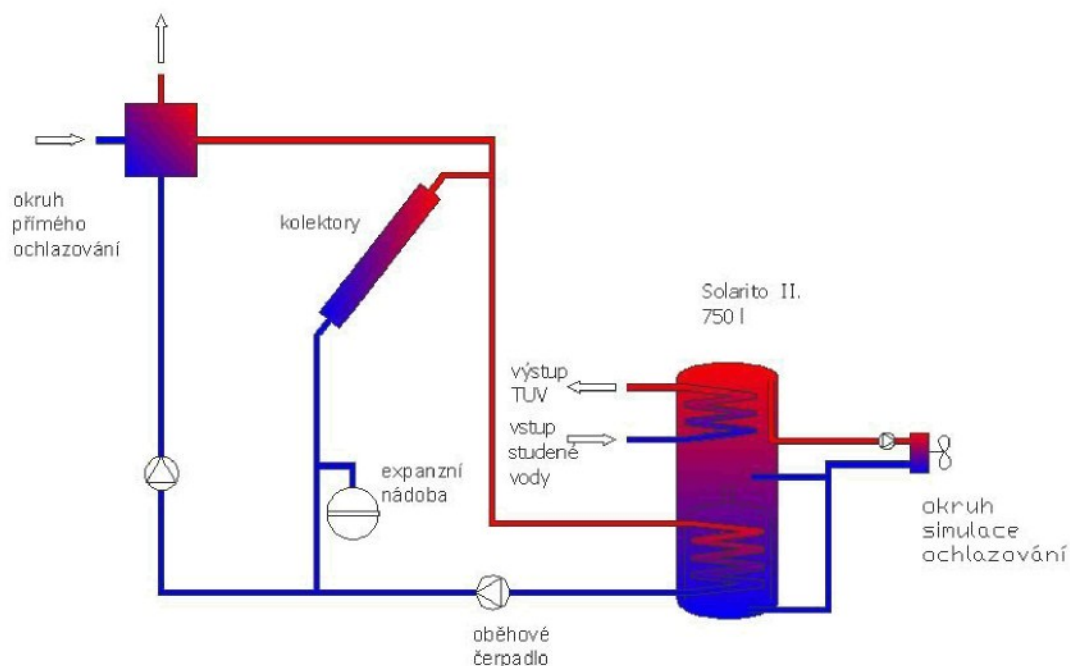
Trubicový přímo protékaný vakuový kolektor. Absorbér umístěný v každé z 20 trubic má celkovou plochu $2,031 \text{ m}^2$ a je upraven selektivním sol-titanovým povrchem. Stagnační teplota kolektoru je $190 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Doporučená cena kolektoru je 48710 Kč bez DPH.

3.1.1.10. Viessmann Vitosol 300 D20

Vitosol 300 vychází konstrukčně z modelu Vitosol 200, plocha absorbéru je $1,977 \text{ m}^2$. V trubicích je ovšem teplonosné médium, pracující na principu Heat Pipe. Trubice lze otáčet a nastavit tak jejich optimální polohu ke Slunci. Stagnační teplotu má tento kolektor $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a cena je 63680 Kč bez DPH. V době měření byly poškozené 2 trubice (došlo k poškození vakuové izolace) a proto měření na tomto kolektoru bylo nepřesné.

3.2. Solární systém

Celá laboratoř se skládá ze tří větších celků. Prvním je samotné kolektorové pole, druhým nádrž s příslušenstvím a třetím je část, která má na starosti řízení a sběr dat z laboratoře. Celkové schéma laboratoře je v příloze č. 2, zjednodušené na obr. 15.



Obr. 15: Zjednodušené schéma solární laboratoře

3.2.1. Kolektorové pole

Kolektorové pole tvoří v současnosti 10 kolektorů, které jsou blíže popsány v kap. 3.1.1. Orientace kolektorů je v azimutu 165° , tedy 15° od jihu směrem na východ. Tento mírný odklon od ideální jižní orientace by neměl mít velký vliv na výkony kolektorů. Kolektory jsou propojeny izolovaným potrubím a průtok jednotlivými kolektory je vyvážen kulovými ventily tak, aby se celkový průtok kolektorovým polem rozdělil rovnoměrně podle absorpční plochy každého kolektoru a s ohledem na průtoky doporučené jednotlivými výrobci. Současně je možné případně do pole připojit další kolektory, je k tomu přizpůsobeno potrubí teplonosné kapaliny i rozvod podtlakového potrubí. Jako teplonosná kapalina je použita nejprve voda, později bude nahrazena nemrznoucí kapalinou. Objem kapaliny v okruhu je přibližně 110 l. Vzhled kolektorového pole je patrný z **obr. 16** a **obr. 17**.



Obr. 16: Celkový pohled na část solární laboratoře. Zprava kolektory NAU, Reflex NBC 18A, Thermosolar H300, Thermosolar H400V, Sonnenkraft SK 500N, Reflex FSC 24 a GreenOneTec VK 25. V pozadí stožár s meteorologickými čidly.



Obr. 17: Pohled na část laboratoře s kolektory firmy Viessmann. Vlevo Vitosol 200 D20, vpravo Vitosol 300 D20, vpředu plochý kolektor Vitosol 100 1,7 s

Špičkový výkon celého kolektorového pole lze odhadnout takto:

$$P = G \cdot A \cdot \eta = 1000 \cdot 19,747 \cdot 0,8 = 15,8 \text{ kW}, \quad (6)$$

kde P je odhadovaný maximální výkon kolektorového pole při ozáření $G = 1000 \text{ W/m}^2$ a účinnosti kolektorů $\eta = 0,8$.

3.2.2. Solární nádrž s příslušenstvím

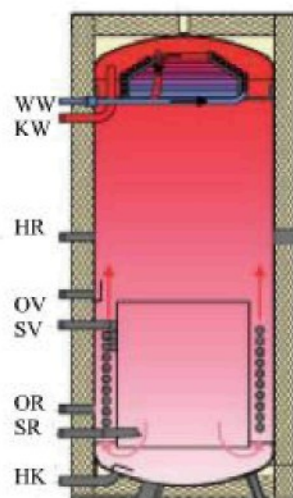
K akumulaci tepla slouží zásobník Solarito II o objemu 750 l. Součástí nádrže jsou dva tepelné výměníky, jeden pro solární okruh a druhý pro ohřev teplé vody. Protože je vzhledem k velikosti kolektorového pole objem jediného zásobníku nedostatečný, musí být zajištěno vychlazování nádrže. To lze provádět buď přímo, odpouštěním teplé vody z nádrže, nebo chlazením vody přes žebrovaný výměník ochlazený proudícím vzduchem. Druhý způsob je výhodnější, neboť nedochází ke zbytečné spotřebě vody.

Jak ukazuje rovnice (6), může kolektorové pole dodávat za ideálních podmínek do nádrže výkon přes 15 kW. Maximální kapacitu zásobníku lze taktéž odhadnout z rovnice:

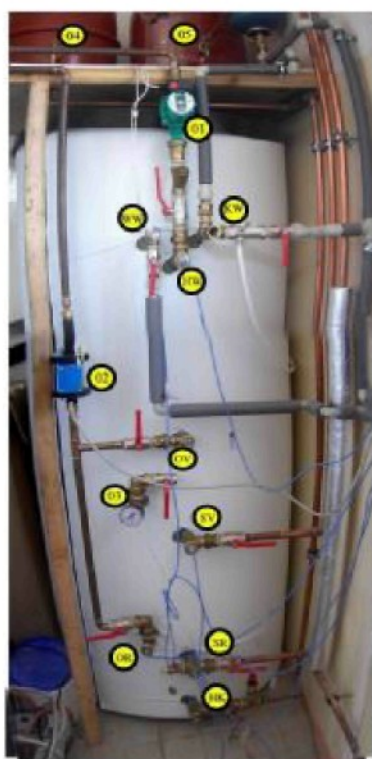
$$\begin{aligned} Q &= M \cdot c_p \cdot \Delta t = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t = 0,75 \cdot 4180 \cdot 990 \cdot 90 = \\ &= 279328500 \text{ J} = 0,27933 \text{ GJ} = 77,59 \text{ kWh}, \end{aligned} \quad (7)$$

kde $\Delta t = 90 \text{ }^\circ\text{C}$ a udává dosažitelný rozdíl teplot v nádrži ($10 \text{ }^\circ\text{C}$ pro studenou vodu z vodovodního řádu a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ je maximální přípustná teplota v nádrži, v praxi by nemělo nastat, protože je nádrž chlazena). Z tohoto výpočtu je zřejmé, že za jasného slunečního počasí je kolektorové pole schopno ohřát celou nádrž velice rychle, proto musí být teplo odváděno. Ve skutečnosti však nádrž není schopna teplo z výměníku solárního okruhu absorbovat ihned. Součástí nádrže je totiž plech, který je umístěn uvnitř spirály výměníku solárního okruhu, který odděluje ohřívanou vodu od celého objemu nádrže. Plech má umožnit rychlé nahřátí menšího objemu vody, která díky menší hustotě stoupá podél stěn nádrže do horní části, kde je umístěn výměník pro ohřev vody. V případě laboratoře je to ovšem u takto poddimenzovaného zásobníku nevýhoda, protože ohřátá voda nestíhá stoupat do horní části zásobníku a to snižuje rychlost přestupu tepla ze solárního okruhu do nádrže, protože rozdíl mezi teplotou kapaliny v solárním okruhu a vody v nádrži kolem solárního výměníku je malý.

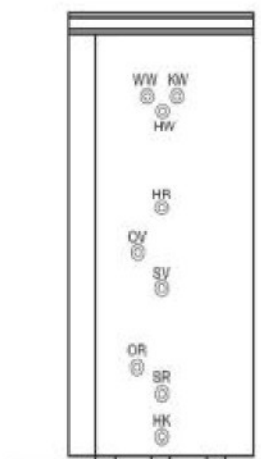
To má za následek zvýšení teploty teplonosné kapaliny na vstupu do kolektoru a tím i snížení účinnosti kolektoru. Řešením je opět intenzivní chlazení nádrže. Z tohoto důvodu byla po prvních dnech zkušebního provozu snížena teplota, při které se zapíná okruh simulace chlazení z 50 °C na 30 °C.



Obr.18: Průřez nádrží Solarito II., popis vstupů a výstupů viz. obr. 19



- 01 - čerpadlo okruhu simulace chlazení
- 02 - průtokoměr okruhu simulace ochlazování
- 03 - manometr topného okruhu
- 04 - expanzní nádoba topného okruhu
- 05 - expanzní nádoba solárního okruhu
- 06 - chladič okruhu simulace chlazení
- HW - vstup do okruhu simulace ochlazování
- WW - výstup ohřáté TUV
- KW - vstup studené TUV
- OV, OR - výstupy z okruhu simulace ochlazování
- SR - zpátečka do kolektorového pole
- SV - vstup z kolektorového pole
- HK - zpátečka topného okruhu - použita i pro dopouštění vody do nádrže



Obr.19: Nádrž Solarito II., popis vstupů a výstupů a celkové umístění v laboratoři

U solární nádrže je umístěna též čerpadlová jednotka s čerpadlem, měřičem tlaku v solárním okruhu a teploměrem. V prostoru nádrže je umístěn i vakuový tlakoměr pro kontrolu podtlaku v kolektoru Thermosolar H400V.



Obr. 20: Vlevo čerpadlová jednotka solárního okruhu, uprostřed obdobná, která může být použita např. pro zvýšení průtoku okruhem, vpravo kalorimetry pro měření solárního a topného okruhu a vakuových kolektorů Viessmann

3.2.3. Řízení

K řízení laboratoře bude sloužit počítač PLC (Programmable Logic Controller) firmy SAIA – Burgess. Jedná se o modulový systém, který umožňuje propojení různých vstupních a výstupních modulů, sběr dat a na jejich základě spínání různých čerpadel, ventilů apod. Kontrolu a ukládání dat z PLC bude mít na starosti připojené PC.

Dočasně slouží k řízení jednoduchý regulátor SH3 firmy Hanazeder Electronics. Tento regulátor má tři programovatelné výstupy a osm vstupů. Na základě údajů ze dvou teploměrů v nádrži, jednoho v místnosti s nádrží a jednoho v absorberu vhodně zvoleného kolektoru, spíná regulátor čerpadlo solárního okruhu a čerpadlo a ventilátor okruhu simulace ochlazování.

V současné době není dosud možné měřit teplotu absorberu všech kolektorů, proto bylo zvoleno měření teploty absorberu kolektoru SK500N. Pokud je teplota absorberu tohoto kolektoru vyšší o více než 5 °C oproti spodní části nádrže, zapíná se čerpadlo solárního okruhu a vypíná se po vyrovnání těchto teplot. Toto jednoduché řízení je však pro soustavu

s různými typy kolektorů značně nevýhodné, protože u některých se nestačí voda dostatečně ohřát a u jiných se naopak kolektor přehřívá. V době, kdy hrozilo zamrznutí solárního okruhu v důsledku poklesu venkovních teplot, bylo čerpadlo solárního okruhu zapnuto neustále a teplotonosná kapalina se tak ohřívala o vodu v nádrži.

Okruh chlazení nádrže spíná automaticky při dosažení teploty 30 °C v horní části zásobníku.

Měření teploty ve spodní části nádrže je pod její izolací v blízkosti vstupu OR, teplota v horní části nádrže u vstupu HW (umístění vstupů a výstupů nádrže je na **obr. 19**)

3.2.4. Zkušební metody dle EN 12976

Pro sluneční kolektory a soustavy a jejich testování platí v České republice celoevropské normy ČSN EN 12975 a ČSN EN 12976, které vešly v platnost v roce 2000 a které nahradily původní národní normy. Tyto normy uvádějí nejen způsob testování výkonových parametrů kolektorů (a to z hlediska solárních soustav s dodatkovým zdrojem tepla a bez něj), ale i zkoušky jejich mechanické odolnosti. Zkoušky je možno provádět ve venkovním prostředí při přirozeném slunečním záření a přirozeném nebo simulovaném proudění větru nebo ve vnitřním prostředí při simulovaném záření a větru. Měření je možno realizovat jako ustálené nebo kvaziustálené. Při kvaziustálené metodě měření je celkový roční zisk z jednotkové plochy kolektoru větší až o 2 % a tato metoda poskytuje přes svoji větší složitost kompletnější charakteristiku kolektoru [3].

Tuto normu nelze použít pro koncentrační kolektory a pro kolektory s vestavěným zásobníkem, naopak ji lze použít např. pro kolektory vestavěné do střechy zhotovené na zakázku, pokud je pro testování použit modul stejné konstrukce.

3.2.5. Venkovní zkouška účinnosti

Pro venkovní zkoušky účinnosti jsou dány následující podmínky:

- orientace kolektoru na jih
- úhel sklonu kolektoru $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$
- délka potrubí 20 m s izolací dle průtoku, resp. průměru potrubí
- zamezení tepelného ovlivnění jinými zdroji tepla a záření

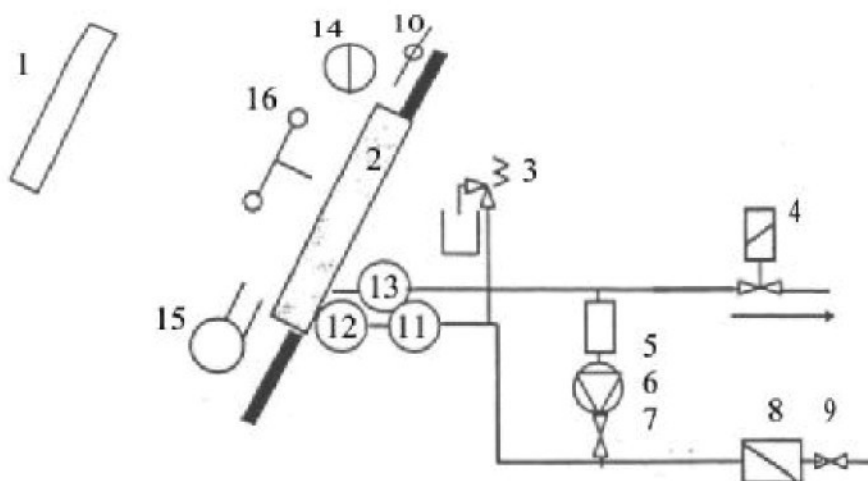
- globální solární ozáření $G > 700 \text{ W/m}^2 \pm 50 \text{ W/m}^2$
- přesnost měření teploty okolního vzduchu $T_a \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
- hmotnostní průtok teplotnosné látky $m = \text{cca } 0,02 \text{ kg/(sm}^2) \pm 1 \%$
- teplota teplotnosné látky na vstupu do kolektoru $T_{in} < 80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Z naměřených dat se sestaví křivka účinnosti závislá na x a statistickým zpracováním křivky se získá účinnost ve tvaru:

$$\eta = \eta_o - a_1 x - a_2 G x^2 \quad (8)$$

3.2.6. Vnitřní zkouška účinnosti

Měření probíhá obdobně jako u venkovní zkoušky, ale lze měnit parametry zkoušky, tedy velikost solárního ozáření G , úhel sklonu kolektoru, rychlost proudění vzduchu u a teploty okolí T_a . Uspořádání měřicího zařízení je na **obr. 21**.



1	zdroj záření	9	ventil na vstupu
2	testovaný kolektor	10	pyranometr, měření ozáření G
3	bezpečnostní ventil	11	průtokoměr, měření průtoku m
4	ventil na výstupu	12	teploměr na vstupu T_{in}
5	dohřev	13	teploměr na výstupu T_e
6	oběhové čerpadlo	14	teploměr, T_a
7	ventil čerpadlové větve	15	ventilátor
8	jednosměrný ventil	16	anemometr, měření rychlosti u

Obr. 21: Schéma zařízení pro vnitřní zkoušku účinnosti kolektoru [2]

3.2.7. Zkouška modifikátoru úhlu dopadu

Modifikátor úhlu dopadu K_θ udává vliv úhlu dopadu záření na výkon kolektoru. K_θ je definován jako:

$$K_\theta = \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \quad (9)$$

kde $(\tau\alpha)_n$ udává součin propustnosti zasklení a pohltivosti absorbéru pro kolmý úhel dopadu záření. K_θ se musí stanovit experimentálně při venkovní zkoušce při dvou měřeních symetricky kolem solárního poledne nebo při vnitřní zkoušce polohováním úhlu kolektoru. Výkon kolektoru v závislosti na modifikátoru úhlu dopadu K_θ se vypočte.

$$Q_u = A_c F [K_\theta (\tau\alpha)_n G - U(T_m - T_a)] \quad (10)$$

3.2.8. Zkoušky mechanické odolnosti a spolehlivosti

Kolektory musí podle normy ČSN EN 12976–2 odolávat veškerým nepříznivým vlivům, které mohou během jejich provozu nastat. Jedná se zejména o odolnost vůči mrazu, vysokým teplotám, vnitřnímu přetlaku, vnitřnímu a vnějšímu tepelnému rázu, znečištění vody, vlivům venkovního prostředí (zejména proti průniku deště) a zkoušky mechanické pevnosti rámu kolektoru.

3.3. Použitá měřicí zařízení

3.3.1. Měření výkonu jednotlivých kolektorů a celého systému - čidla (typ, vlastnosti, přesnost) a měřené parametry

K měření výkonu kolektorů a výkonu celého systému slouží dvojité měřiče tepla (kalorimetry) MT200DS od firmy EESA. Využívají čidla na indukčním principu. Tato čidla nezpůsobují žádnou tlakovou ztrátu a dokáží pracovat i s kapalinou, která má široký rozsah viskozity. To je u solárního systému nutné, protože při celoročním provozu teplonosná kapalina může měnit s teplotou svou viskozitu ve velice širokém rozsahu. Kalorimetr pracuje se dvěma čidly průtoku a dvěma páry kalibrovaných teploměrů Pt500. Teploměry slouží pro

měření teplot na vstupu a výstupu z kolektoru. Přesnost čidel průtoku je $\pm 3 \%$ v celém rozsahu, přesnost čidel teploty je $0,05 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v celém pracovním rozsahu. Celkem je v laboratoři k dispozici 8 dvojitých měřičů tepla, které měří průtoky a teploty všech kolektorů, výkon celého systému a energii, která odchází ze systému chlazením. Všechny kalorimetry jsou propojeny s řídicím systémem SAIA pomocí linky RS485.

3.3.2. Měření meteorologických veličin

K určení účinnosti kolektorů je třeba znát i energii, která na kolektor dopadá a teplotu okolí kolektoru. Solární laboratoř je vybavena kompletní meteorologickou laboratoří, která dokáže měřit intenzitu slunečního záření ve 2 rovinách (vodorovné a v rovině kolektorů), teplotu a vlhkost okolního vzduchu, barometrický tlak, srážky a směr a rychlost větru. Pro tuto práci jsou důležité zejména záření v rovině kolektoru a teplota okolního vzduchu.

Globální solární ozáření v rovině kolektorů je měřeno pyranometrem SG 420. Pyranometr dokáže měřit ozáření v rozmezí $G = 0$ až 1200 W/m^2 s přesností $\pm 3 \%$.

Teplotu okolního vzduchu měří kombinované čidlo teploty a vlhkosti NH421.65. Rozsah měřené teploty je -30 až $+80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, přesnost měření teploty $\pm 0.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v rozsahu -20 až $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.8 \%$ z hodnoty nad $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pod $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.4. Naměřená data – způsob ukládání

Veškerá naměřená data ze solární laboratoře se ukládají ve 2 databázích. Databáze jsou ve formátu SQL a přístupné z aplikace Microsoft SQL Server. Některá data budou později k dispozici pro zveřejnění na připravované webové stránce laboratoře. První databáze ukládá třiminutové průměry všech veličin a jejich maxima a minima, druhá databáze ukládá hodinové průměry, maxima a minima. Třiminutová databáze obsahuje data za poslední 4 měsíce, poté jsou stará data průběžně mazána. Hodinová databáze ukládá všechna data od počátku měření. Databáze ukládá kromě údajů z kalorimetrů i data z meteostanice a z fotovoltaické fasády, která je též umístěna v areálu TUL.

Seznam všech veličin v databázi je v **příloze č.3**, ukázka struktury databáze v **příloze č. 4**.

K vizualizaci naměřených i aktuálních dat z meteostanice, kalorimetrů i fotovoltaické fasády je možné použít program ASPIC (viz **příloha č.5**).

4. Naměřené hodnoty, vyhodnocení a porovnání jednotlivých typů kolektorů a jejich účinnostních charakteristik

4.1. Zkušební s uváděním laboratoře do provozu

Takto rozsáhlý projekt je samozřejmě spojen s velkými úskalími. Každý z celků se musí sám funkčně doladit a propojit s ostatními.

Největší problémy nastaly se solárním okruhem. Tlak v okruhu je kolem 2 až 2,5 bar, ale při intenzivním slunečním záření může stoupnout až na více než 4 bar. Při tomto tlaku je nutná velká pečlivost při propojování součástí okruhu (trubky, kolektory, průtokoměry) tak, aby nedocházelo k úniku teplotosné kapaliny, případně zavzdušňování okruhu. Další problémovou součástí byly vyráběné příruby pro upevnění průtokoměrů, které zpočátku nedokázaly udržet potřebný tlak a teplotosnou kapalinu propouštěly.

Během prvních několika týdnů provozu se musel solární okruh několikrát odvzdušňovat a i přesto docházelo k dalšímu zavzdušňování nebo únikům kapaliny. Důvodem mohou být malé netěsnosti ve spojích trubek, ale jejich nalezení je obtížné. Také teplotosná kapalina v sobě může obsahovat poměrně velké množství rozpuštěného vzduchu, které se uvolňuje postupně až při vyšších teplotách během chodu systému. Z tohoto důvodu se musel solární okruh několikrát dotlakovat. Po prvním napuštění bylo v okruhu 89 l kapaliny, při prvním dotlakování bylo přidáno 9 l, při druhém 12 l. Minimálně jedno dotlakování bude ještě potřeba provést, pravděpodobně současně s tím proběhne smíchání s nemrznoucí kapalinou v poměru 1:1.

Celý solární systém se musí po zapojení seřadit tak, aby všechny kolektory byly protékány adekvátním množstvím kapaliny s ohledem na plochu absorbéru a průtoky doporučené výrobcem. Seřízení probíhalo pomocí kulových ventilů na vstupu do každého kolektoru. Nejprve se při plně otevřených ventilech změřil průtok celého solárního systému a tento se rozpočetl podle ploch jednotlivých absorbérů. Seřízení pomocí kulových ventilů je velmi zdlouhavé, protože mají nevhodnou průtokovou charakteristiku. Vhodnější seřizovací ventily jsou však velmi drahé. Průtokoměry u kalorimetrů jsou kalibrovány u výrobce a ověření jejich správné funkce je obtížné, a v současné době není na TUL k dispozici zařízení pro cejchování průtokoměrů za chodu systému. Protože součet měřených průtoků na všech

paralelně zapojených kolektorech neodpovídal průtoku solárního systému u nádrže, bylo nutno eliminační metodou vyřadit jeden dvojité měřič tepla příslušící ke kolektorům VK 25 a FSC 24. Tento měřič byl poškozen a neukazoval správný průtok. Vstup teplotonosné kapaliny do těchto kolektorů byl na vstupu uzavřen a kolektory nebyly zahrnuty do experimentu.

4.2. Grafy účinnosti jednotlivých kolektorů, porovnání typů

Výkon kolektoru se ukládá v laboratoři přímo v databázi z hodnot vypočtených kalorimetrem, ale dá se vypočítat i z průtoku a teplot na vstupu a výstupu z kolektoru.

Tepelný výkon v [kJ/s] se vypočte ze vztahu:

$$q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kJ} / \text{s}] \quad (11)$$

z přepočtu:

$$\begin{aligned} \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right] &= [\text{W}] \\ \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] &= [\text{kW}] \\ \left[\frac{\text{kJ}}{\text{hod}} \right] &= \left[\frac{\text{kW}}{3600} \right] = 0,27778 \text{ W} = 2,7778 \cdot 10^{-4} \text{ kW}, \end{aligned} \quad (12)$$

tedy:

$$\dot{Q} = \rho \cdot \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t \cdot 2,7778 \cdot 10^{-4} \quad [\text{kW}], \quad (13)$$

kde

$$\Delta t = T_m = \frac{T_m + T_e}{2} \quad [\text{K}], \quad (14)$$

tedy střední teplota teplotonosné kapaliny v kolektoru.

Pokud známe energii, která dopadá na kolektor (je dána součinem plochy absorberu a solárního ozáření v rovině kolektoru G), dá se z vypočteného výkonu určit účinnost kolektoru:

$$\eta = \frac{Q}{G \cdot A_c} \quad [-] \quad (15)$$

Účinnost lze vynést do grafu v závislosti na redukovaném teplotním rozdílu x [$\text{m}^2\text{K/W}$].

$$x = \frac{T_m - T_a}{G} \quad [\text{m}^2\text{K/W}], \quad (16)$$

kde T_a je teplota v okolí kolektoru. Grafy závislosti některých kolektorů již změřil solární institut SPF a proto můžeme jejich výsledky porovnat s výsledky naměřenými v laboratoři.

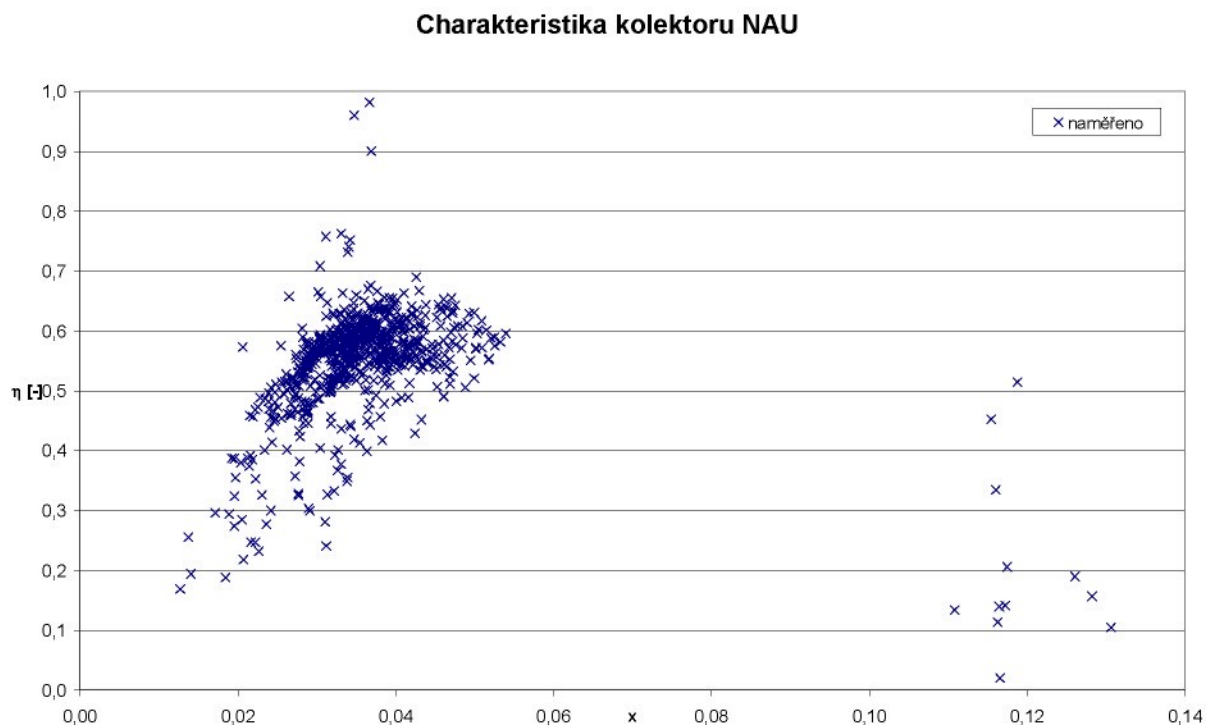
4.2.1. Výběr dat pro tvorbu závislosti $\eta = f(x)$

Institut SPF měří kolektory dle EN 12976-2. Z tohoto důvodu byly do srovnání vybrány z tříminutové databáze pouze hodnoty, kde je hodnota solárního ozáření $G > 700 \text{ W/m}^2$. Bohužel z databáze nelze určit úhel, pod kterým na kolektor záření dopadá, pouze můžeme z časové značky odhadnout polohu Slunce vzhledem ke světovým stranám. Při měření tak nenastávají ideální podmínky, jako při měření institutem SPF, ovšem lépe odpovídají nasazení kolektoru v praxi. Z naměřených dat byl vypočten výkon kolektoru a hodnota redukovaného teplotního rozdílu x . Abychom získali celou křivku, bylo by třeba měřit výkon kolektoru při velkém rozsahu teploty okolí, to však vyžaduje dlouhodobé měření. Pravá část křivky, kde je největší x , resp. velký rozdíl $T_m - T_a$, odpovídá části roku, kdy je teplota okolí nízká. V tomto období je však nižší solární ozáření a dnů, kdy solární ozáření stoupne na potřebnou hodnotu $G > 700 \text{ W/m}^2$, je málo.

Z naměřených bodů účinnosti je patrný poměrně velký rozptyl hodnot účinnosti pro danou hodnotu x . To je způsobeno rozptylem hodnot záření v datových bodech v rozsahu 700 až přibližně 1100 W/m^2 . Pro každou jednotlivou hodnotu záření existuje jedna křivka účinnosti. Při menším záření je křivka posunuta směrem k nižším účinnostem, přičemž se nemění optická účinnost, křivka tedy začíná pro $x = 0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ vždy ze stejného bodu.

Naměřené body tvoří celou pracovní oblast kolektoru, tedy oblast ve které se účinnost kolektor během provozu pohybuje.

4.2.2. NAU

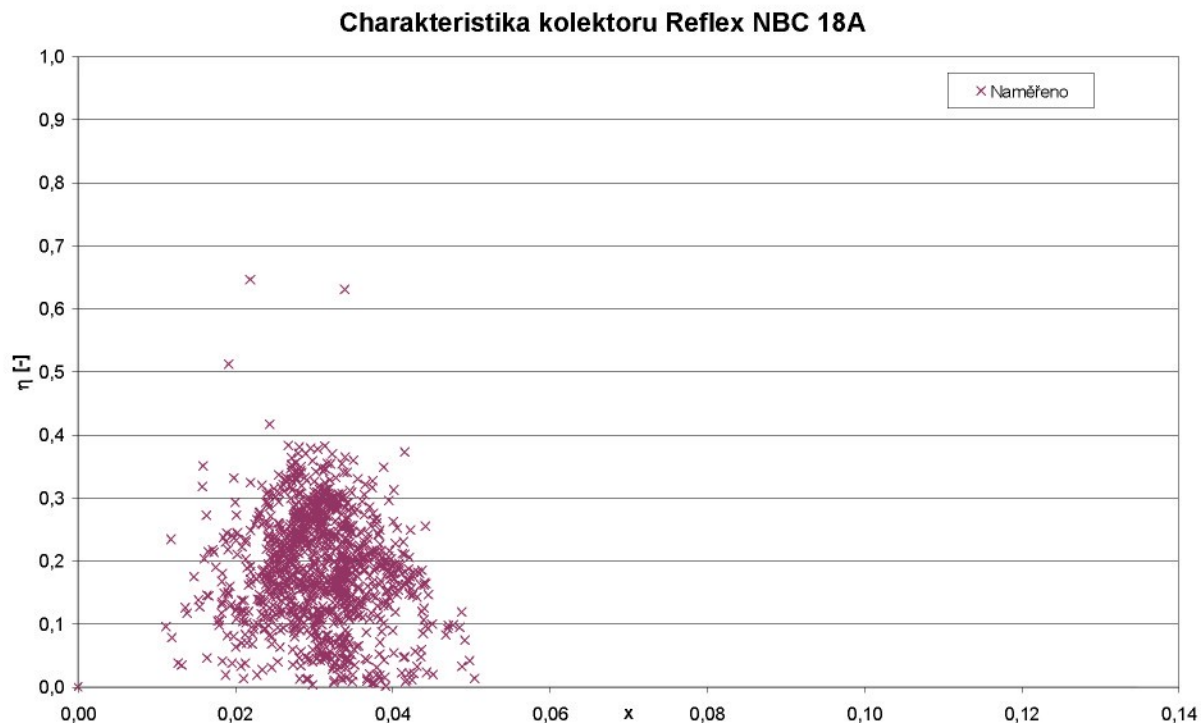


Obr. 22: Naměřené hodnoty účinnosti η v závislosti na redukovaném teplotním rozdílu x pro kolektor NAU

Rozbor výsledků NAU

Měření na kolektoru NAU přineslo velice zajímavé výsledky. Jedná se o kolektor, u kterého byl předpoklad nejnižších výkonů na m^2 ze všech kolektorů (společně s kolektorem NBC 18A, oba mají neselektivní absorbér). Ovšem výsledky ukázaly se ukázaly zcela opačné. Nelze je proto považovat za přesné. Důvody těchto výsledků bude třeba ještě ověřit a vlivy, které mohly ovlivnit měření, jsou popsány v kapitole 5.1.

4.2.3. NBC 18A

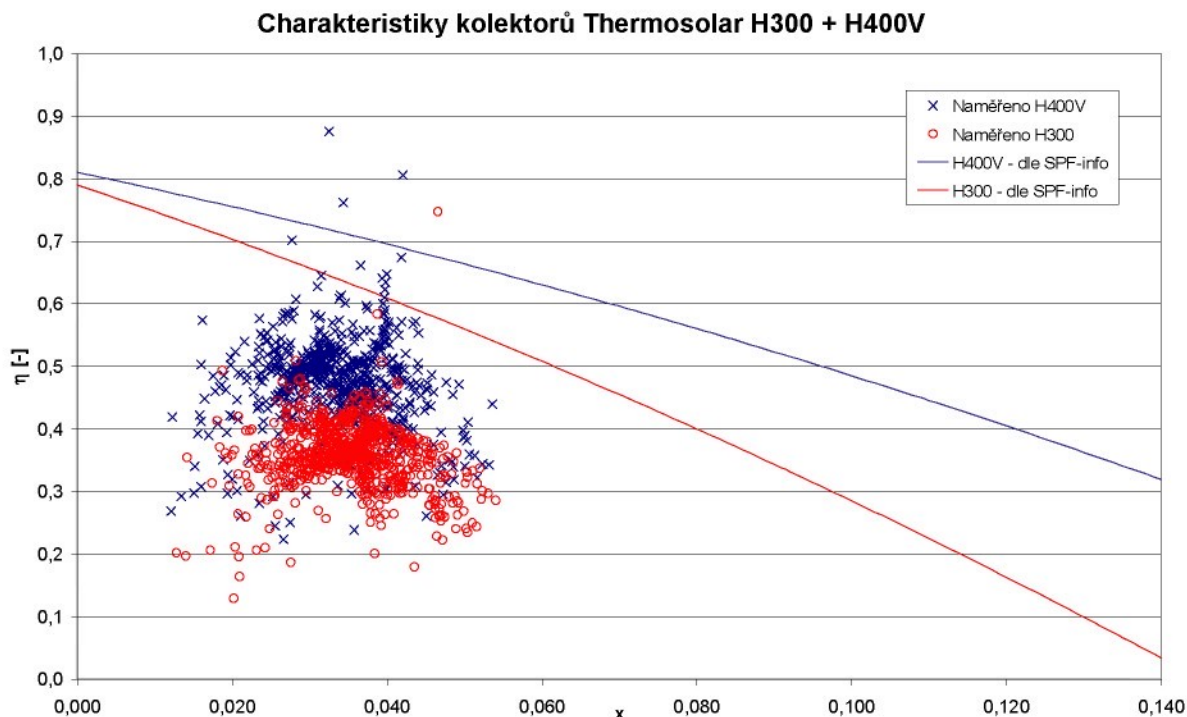


Obr. 23: Naměřené hodnoty účinnosti η v závislosti na redukovaném teplotním rozdílu x pro kolektor Reflex NBC 18A

Rozbor výsledků NBC 18A

Naměřené výsledky odpovídají tomu, že kolektor nemá selektivně upravený absorber. Účinnost velice rychle klesá s rostoucí hodnotou redukovaného rozdílu x . Tento kolektor je tedy určen spíše pro letní období, v zimě budou ztráty kolektoru příliš vysoké. Velký rozptyl hodnot ve svislé ose může být způsoben i nekvalitním zasklením, kdy použité sklo špatně propouští záření, které dopadá na zasklení pod velkým úhlem. Graf totiž nezohledňuje polohu slunce vůči kolektoru. Modifikátor úhlu dopadu K_θ je tedy u tohoto kolektoru poměrně nízký.

4.2.4. H300+H400V



Obr. 24: Naměřené hodnoty účinnosti η v závislosti na redukováném teplotním rozdílu x v porovnání s křivkou účinnosti naměřenou institutem SPF pro kolektory Thermosolar H300 a H400V

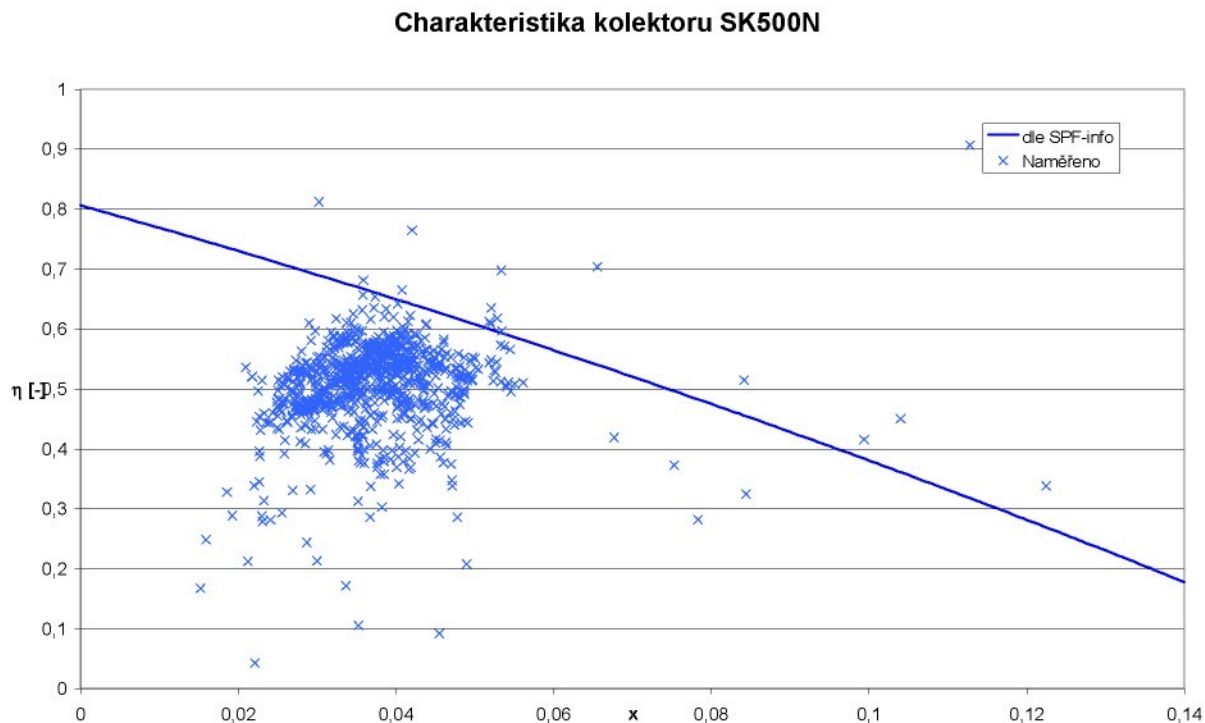
Rozbor výsledků H300 + H400:

Naměřené hodnoty se pohybují opět výrazně níže, než odpovídá křivce naměřené v institutu SPF, a to u obou kolektorů asi o 20-25 %.

Průtok kolektorem H300 byl pro měřené hodnoty přibližně 55 l/hod a pro H400V 92 l/hod. Pro oba kolektory udává výrobce doporučený průtok 30 až 100 litrů, uvedené průtoky jsou tedy v tomto intervalu. Oba kolektory jsou obdobné konstrukce, ale s odlišným způsobem izolace absorberu, bylo by proto vhodné pro přesnější porovnání obou izolací přesněji seřadit průtoky na stejnou hodnotu.

Výrobce udává, že by kolektor H400V s vakuovou izolací měl mít o 20-30% vyšší účinnost, než kolektor H300 s klasickou izolací. V naměřeném období měl kolektor H400V účinnost vyšší asi o 10 až 15 % než H300. Je však pravděpodobné, že při nižších teplotách okolí se výhoda vakuové izolace projeví více.

4.2.5. SK500N



Obr. 25: Naměřené hodnoty účinnosti η v závislosti na redukováném teplotním rozdílu x v porovnání s křivkou účinnosti naměřenou institutem SPF pro kolektor SK500N

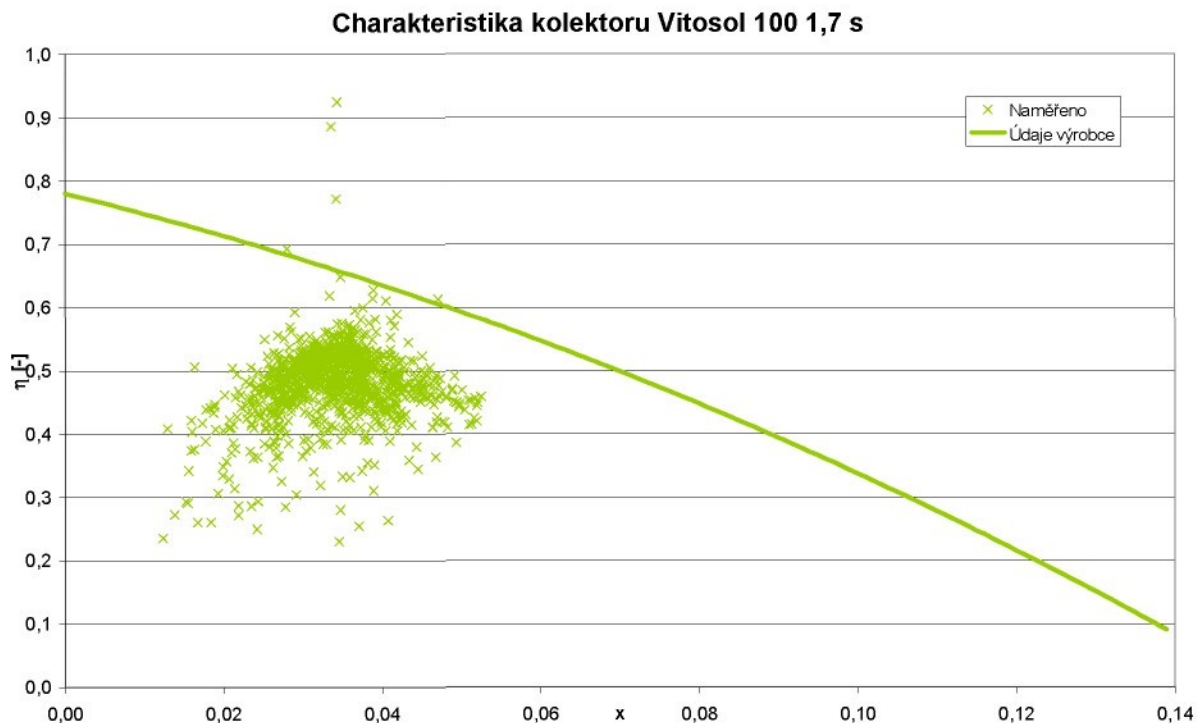
Rozbor výsledků SK500N:

Většina hodnot je rozptýlena v pásmu, kde $x = 0,02$ až $0,055$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]. To je způsobeno tím, že rozsah měření byl pouze pro úzký interval venkovních teplot, zde asi $T_a = 6$ až 20 °C. Hodnoty se vyskytují přibližně o 10-20 % pod křivkou, naměřenou institutem SPF. To může být způsobeno, kromě vlivů popsaných výše, např. zašpiněním krycího skla kolektoru. V praxi toto ovšem nastává také, a tak tyto výsledky zřejmě více odpovídají výkonům kolektoru v reálných podmínkách.

4.2.6. Reflex FSC 24 + GreenOneTec VK 25

Kolektory byly vyřazeny z měření z důvodu poškození měření průtoků na kalorimetrech.

4.2.7. 100 1,7 s

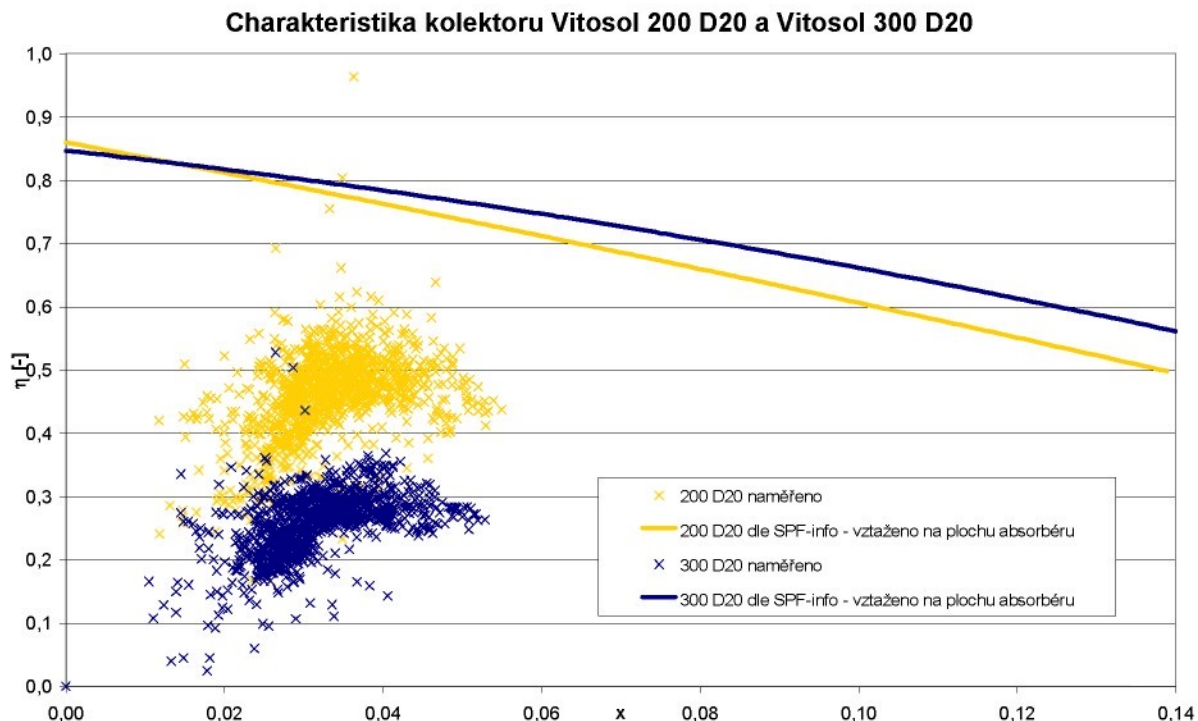


Obr. 26: Naměřené hodnoty účinnosti η v závislosti na redukovaném teplotním rozdílu x v porovnání s křivkou účinnosti udávanou výrobcem pro kolektor Vitosol 100 1,7s

Rozbor výsledků Vitosol 100 1,7 s:

Naměřená křivka účinnosti svým tvarem poměrně dobře kopíruje tvar křivky udávané výrobcem, pouze je posunutá asi o 15 % směrem k nižším účinnostem. To opět zřejmě velice dobře odpovídá nasazení kolektoru v praxi.

4.2.8. 200 D20 + 300 D20



Obr. 27: Naměřené hodnoty účinnosti η v závislosti na redukovaném teplotním rozdílu x v porovnání s křivkou účinnosti naměřenou institutem SPF pro kolektory Vitosol 200 D20 a Vitosol 300 D20.

Rozbor výsledků Vitosol 200 D20:

Naměřené hodnoty se pohybují poměrně výrazně pod křivkou naměřenou institutem SPF. Ovšem tato křivka je vztažena na plochu absorberu, pokud bychom měření porovnali s křivkou vztaženou na celkovou plochu, naměřené hodnoty by odpovídaly přesněji. Pohybují se asi pouze o 10 % pod křivkou. Zajímavá je poměrně velká shoda hodnot naměřených tímto kolektorem a kolektorem Vitosol 100 1,7 s stejného výrobce. Důvodem je zřejmě shodně provedené selektivní povrstvení a fakt, že kolektor nebyl provozován za tak nízkých teplot, kdy se dokáže naplno projevit vakuová izolace trubicového kolektoru Vitosol 200 D20.

Rozbor výsledků Vitosol 300 D20:

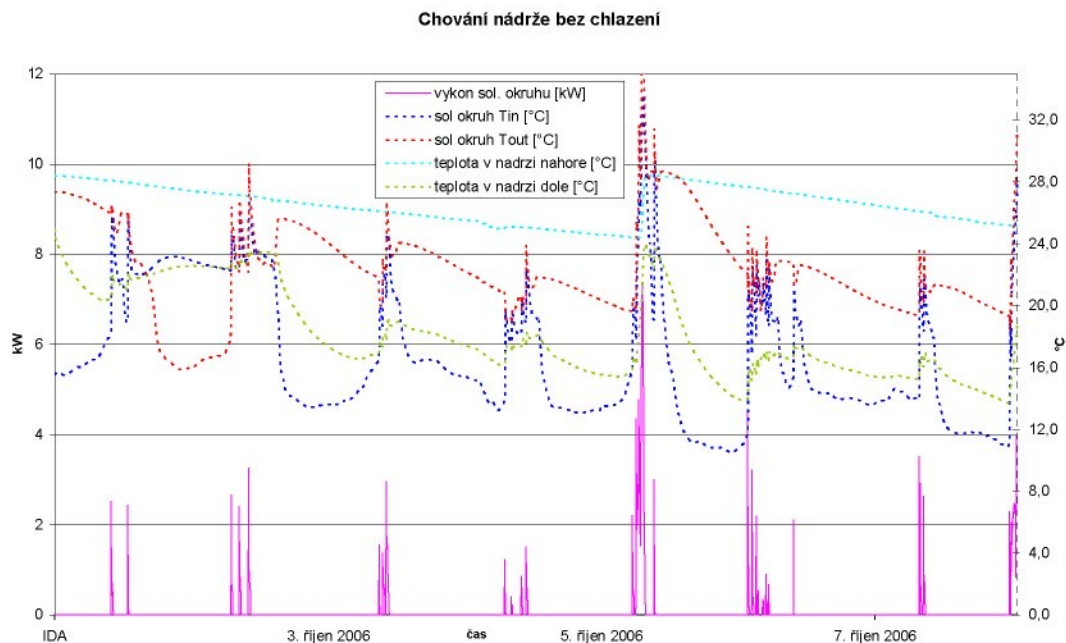
U kolektoru Vitosol 300 D20 byly v době měření bohužel poškozené dvě trubice a proto nejsou naměřené hodnoty správné. Vzhledem ke ztrátě vakua, a tím i izolace,

docházelo přes tyto trubice k ochlazování teplonosné kapaliny, a tím i snížení účinnosti kolektoru. Přestože byly poškozeny pouze 2 trubice z 20, došlo k poklesu účinnosti téměř na polovinu oproti očekávání (hodnotám blízkým kolektoru Vitosol 200 D20). Kolektory byly provozovány ve srovnatelných podmínkách, průtok byl průměrně 112 l/hod u 300 D20 resp. 124 l/hod u 200 D20. Tyto průtoky jsou na spodní hranici doporučeného průtoku (120 až 160 l/hod). Zvýšení průtoku se dosáhne zdvojením čerpadla solárního průtoku a nutným přeseřazením systému.

4.3. Chování solárního systému jako celku a solární nádrže

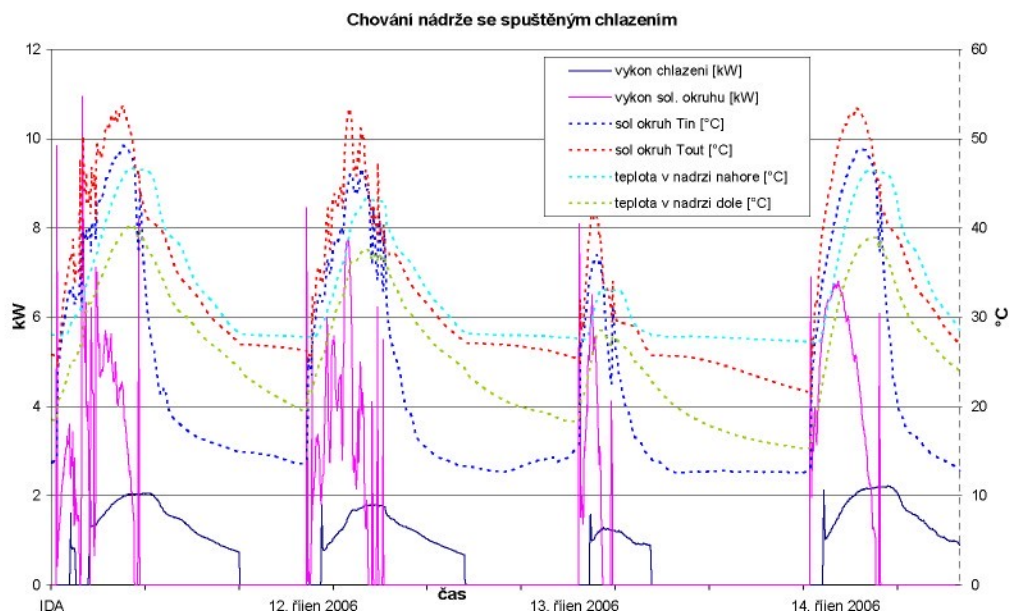
Jedním z úkolů při zkušebním provozu Solární laboratoře bylo sledovat dynamické chování solárního systému jako celku, zejména vztah mezi teplotou teplonosné kapaliny ze solárního okruhu a teplotami v různých částech solární nádrže. Teploty byly v nádrži sledovány ve dvou místech: dole v místě solárního výměníku a nahoře v místě výměníku topného okruhu. V obou případech byly teploměry umístěny pod izolací nádrže na těle nádrže.

Jak bylo během měření zjištěno, v případě menších tepelných zisků, kdy je nabídka slunečního záření menší, dochází k ohřevu vody pouze ve spodní části zásobníku. Horní část zásobníku se vlivem tepelných ztrát pomalu ochlazuje. Toto ochlazení činí asi 1 °C za den, pokud je počáteční teplota v horní části nádrže přibližně 28 °C a teplota v okolí nádrže 20 °C. Chování nádrže v tomto případě je zřejmé z **obr. 28**.



Obr. 28: Chování nádrže bez chlazení

Pokud je záření dostatečné a teplota v horní části nádrže vystoupí nad teplotu nastavenou na regulátoru (v našem případě 30 °C), zapíná okruh simulace ochlazování. Z **obr.29** je patrné, že výkon chladicího okruhu je mnohem menší, než výkon solárního systému i v případě, že je polojasné počasí a systém nedodává maximum tepla. Z průběhu funkce chlazení během dne je patrné, že se nádrž dochlazuje v průběhu noci.

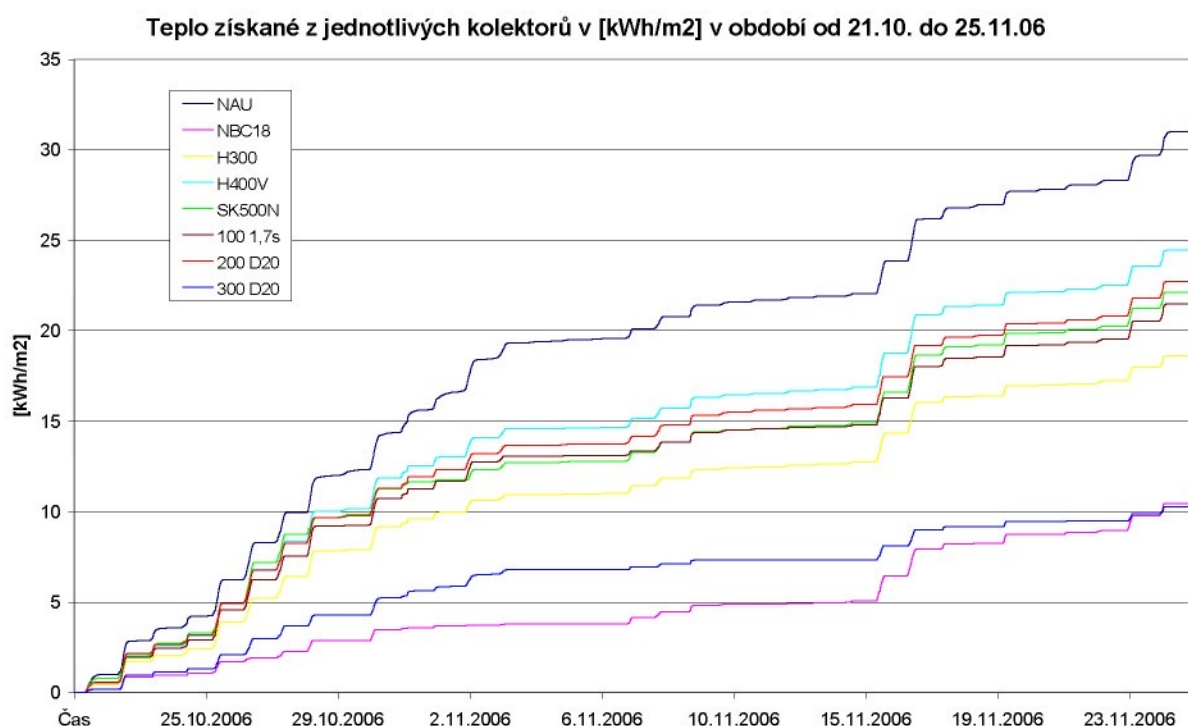


Obr. 29: Chování nádrže s chlazením

5. Rozbor problematiky konstrukčního řešení slunečních kolektorů z hlediska jejich efektivnosti a pořizovací ceny

5.1. Porovnání jednotlivých typů z hlediska poměru „cena/výkon“

Kromě měření křivek účinností bylo samozřejmě sledováno teplo, které byly jednotlivé kolektory schopny dodat do solárního okruhu v průběhu měření. Celkové teplo, vztažené na m^2 je zobrazeno v grafu na **obr.30**.



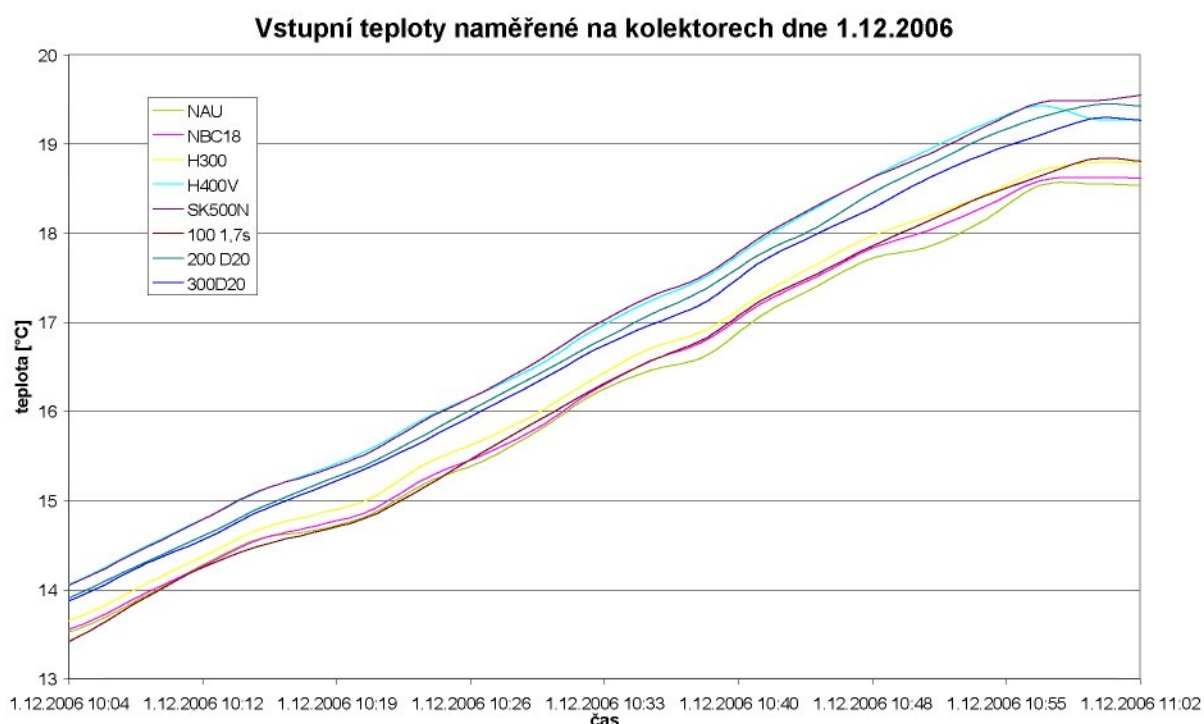
Obr. 30: Teplo získané z jednotlivých kolektorů v [kWh/m²] v období od 21.10. do 25.11.2006

Rozbor výsledků

Výsledky **plochých kolektorů** odpovídají očekávání s výjimkou kolektoru NAU. Ten ukazuje nejvyšší tepelné zisky ze všech kolektorů, což je vzhledem ke konstrukci kolektoru nesmysl. Důvody bude ještě třeba prověřit dalším měřením, ale vlivy, které by se na tomto mohly podílet, jsou tyto:

- 1) Nepřesnost měření teploty na vstupu a výstupu z kolektoru: Jak ukazuje **obr.31**, byla vstupní teplota kolektoru NAU nejnižší ze všech kolektorů. Teplota byla měřena

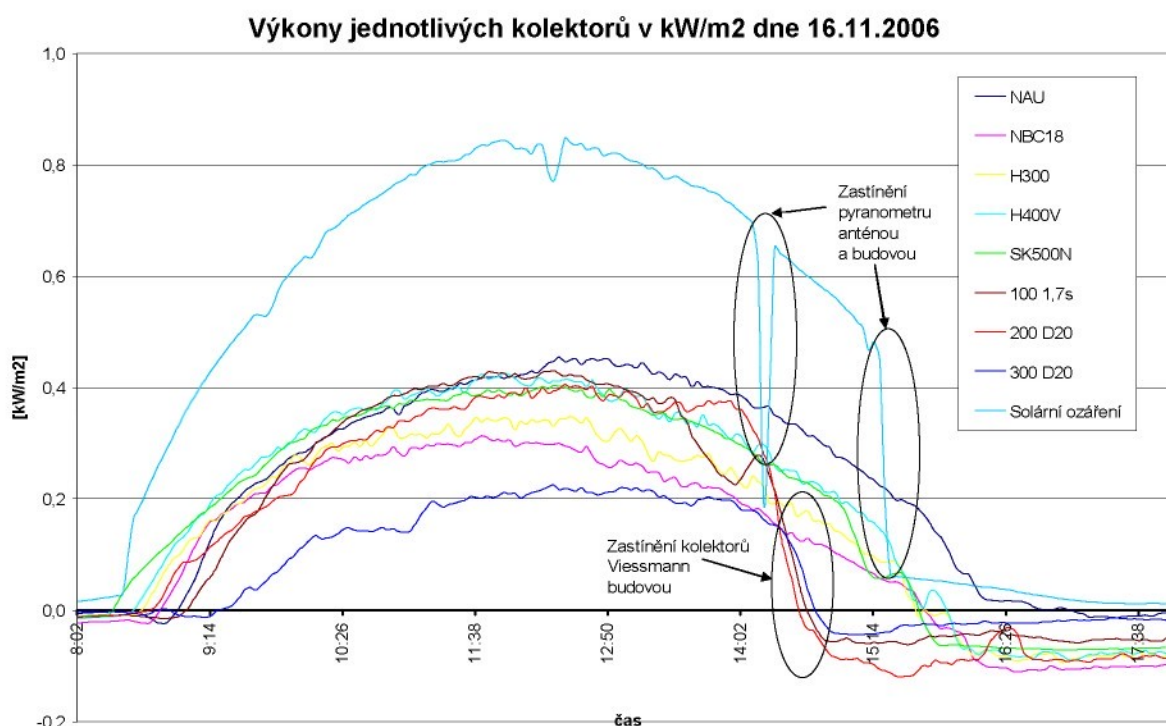
v den, kdy byla zatažená obloha. Vzhledem k tomu, že je vstup teplotonosné kapaliny do kolektoru napojen nejbližší k nádrži, měla by být naopak teplota nejvyšší (za předpokladu postupného ochlazování teplejší kapaliny studeným okolním vzduchem v průběhu průtoku systémem). Pokud bude rozdíl teplot na vstupu a výstupu malý z důvodu nedostatečného záření, může tato nepřesnost zásadně ovlivnit měření výkonu kolektoru, a tím i celkového tepla.



Obr. 31: Vstupní teploty na kolektorech dne 1.12.2006

- 2) Nepřesnost měření průtoku: To bylo vyloučeno ověřovacím měřením, kdy byly uzavřeny všechny ostatní kolektory a byl porovnáván průtok kolektorem NAU s průtokem celým solárním systémem u nádrže.
- 3) Nejdelší doba vystavení záření ze všech kolektorů: Vzhledem k umístění kolektoru na východním okraji kolektorového pole, je kolektor vystaven nejdelší dobu slunečnímu záření. To však nevysvětluje vysokou účinnost v závislosti na redukované teplotě x , zobrazené v **obr. 22**. Naopak tuto teorii potvrzuje graf průběhu výkonů během dne v **obr. 32**, kde je zřetelně vidět, že kolektor NAU je slunci vystaven nejdéle.
- 4) Vlastnosti zasklení: Je možné, že kolektor je zasklen takovým sklem, které dokáže lépe využít záření, které dopadá na kolektor v malém úhlu.

- 5) Největší plocha kolektoru: Kolektor NAU má největší plochu ze všech kolektorů v laboratoři. Díky tomu má relativně nejmenší ztráty rámem kolektoru.
- 6) Ovlivnění větrem: Kolektor je ze všech nejlépe chráněn budovou proti působení větru. Zda má vítr vliv na výkony kolektoru a jak velký, bude možno zjistit po delším měření, neboť součástí meteorologické stanice laboratoře je i měřič rychlosti a směru větru.



Obr. 32: Výkony jednotlivých kolektorů v [kW/m²] dne 16.11.2006

Výsledky **trubicových kolektorů** jsou v podstatě srovnatelné s výsledky kvalitních plochých kolektorů se selektivním absorberem a z hlediska poměru „cena/výkon“ propadly. V zimním období se ale může situace obrátit, vzhledem k lepšímu odizolování.

Rozbor výsledků z hlediska poměru „cena/výkon“:

- 1) **NAU:** Tento kolektor nebyl hodnocen z důvodu nevyjasněných nepřesností při měření
- 2) **Reflex NBC 18A:** Kolektor sice získal v průběhu měření jednoznačně nejméně tepla, vzhledem k velice nízké ceně však v poměru „cena/výkon“ výrazně

nepropadl. Pro sezónní ohřev TUV by byl vhodný, pro celoroční bude třeba zvolit jiný kolektor se selektivním absorbérem.

- 3) **Thermosolar H300**: Vítěz z pohledu „cena/výkon“ za dobu měření. Při poměrně nízké pořizovací ceně jsou výkony dobré. Ve skupině selektivních plochých kolektorů je sice nejhorší, ale vše dohání nízkou cenou. Je však otázkou, jak hodně se projeví pokles účinnosti při nižších venkovních teplotách.
- 4) **Thermosolar H400V**: Díky vakuové izolaci bylo získané teplo za dobu měření téměř o 30 % vyšší než u obdobného kolektoru H300 s klasickou izolací. Nárůst ceny byl ovšem téměř 50 %, nehledě na další náklady spojené s vakuovou izolací (např. vedení vakua od kolektoru k měřiči podtlaku ve strojovně). Další měření by mělo potvrdit, zda se rozdíl v získaném teple ještě zvětší v zimním období.
- 5) **Sonnenkraft SK 500N**: Zřejmě vrchol mezi plochými kolektory se selektivním povrchem a klasickou izolací. Tepelný zisk je obdobný jako u trubicového kolektoru Viessmann Vitosol 200 D20, avšak za třetinovou cenu za m² kolektoru.
- 6) **Reflex FSC 24**: Kolektor nebyl z důvodu poškození průtokoměru hodnocen, měl by se však pohybovat někde na úrovni ostatních selektivních plochých kolektorů.
- 7) **GreenOneTec VK25**: Kolektor nebyl z důvodu poškození průtokoměru hodnocen. Bohužel tento typ představuje jakýsi přechod mezi plochými a trubicovými kolektory a bylo by zajímavé zjistit, zda konstrukce se zrcadly CPC a Sydney trubicí je v praxi lepší než klasický trubicový kolektor bez zrcadel.
- 8) **Viessmann Vitosol 100 1,7s**: Bohužel tento typ se nyní prodává pouze v provedení s plochou 2,5 m², a tak není k dispozici aktuální cena. Ovšem vzhledem k výkonům je minimálně srovnatelný s kolektorem SK 500N. Navíc celkové získané teplo bylo ovlivněno umístěním kolektoru, protože se dostává poměrně brzo do stínu.
- 9) **Viessmann Vitosol 200 D20**: V hodnocení „cena/výkon“ tento kolektor za dobu měření zcela propadl. Celková získaná energie může být ovlivněna nevýhodným

umístěním kolektoru, kdy se dostává nejdříve do stínu (viz **obr. 32**), ale to nemá vliv na okamžité výkony. Výkony může ale ovlivnit vítr, kterému je tento kolektor vystaven. Nachází se totiž v severozápadní části laboratoře, tedy ve směru převládajících větrů. V zimním chladném období může kolektor oproti ostatním kolektorům těžit z lepší izolace.

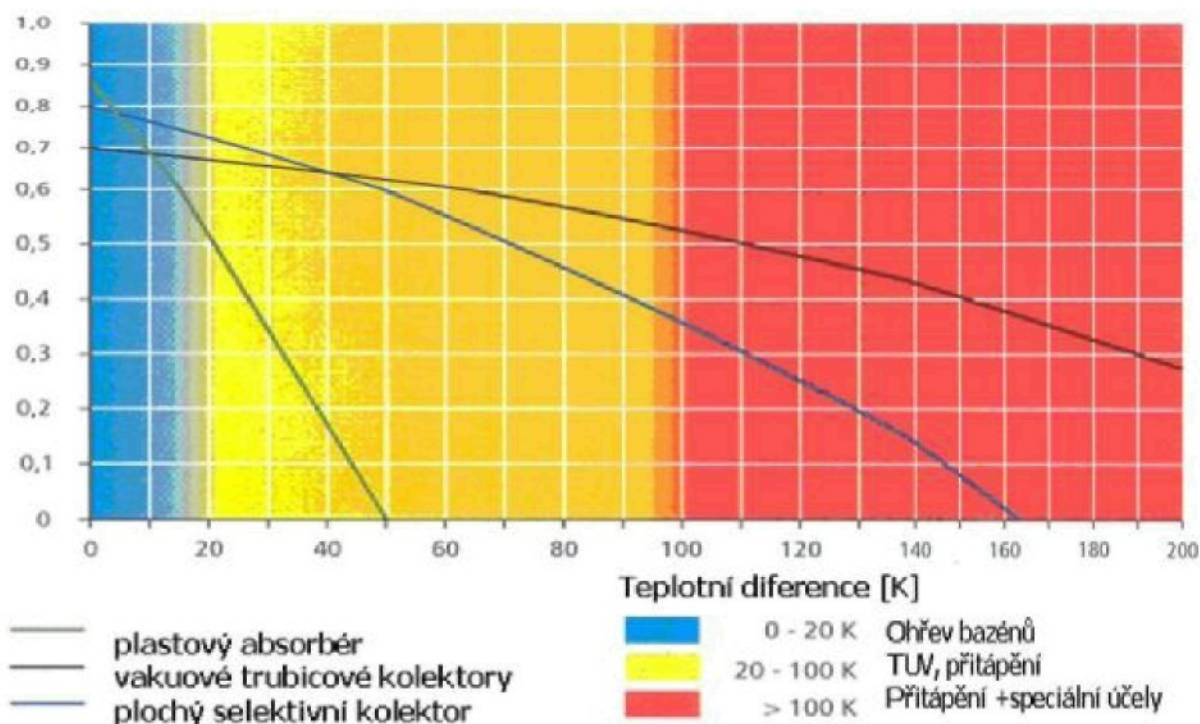
- 10) **Viessmann Vitosol 300 D20:** Kolektor nebyl hodnocen z důvodu poškození vakuové izolace u dvou trubic. Bude ovšem zajímavé v budoucnosti sledovat, zda nárůst ceny oproti přímo protékanému kolektoru Vitosol D20 přibližně o 30 % přinese i zvýšení výkonů

5.2. *Vhodnost využití jednotlivých typů pro ohřev TUV a přitápění v ČR*

Jak je patrné z **obr. 33**, je každý základní typ kolektoru (plastový absorbér, plochý selektivní kolektor a vakuový trubicový kolektor) vhodný pro jiné nasazení v praxi. Vždy je vhodné volit pouze takový typ kolektoru, který pro daný účel využijeme. Pokud potřebujeme pouze ohřívat bazénovou vodu, volíme pouze obyčejný plastový absorbér.

Pro ohřev TUV lze v podmínkách ČR využít zejména plochých kolektorů a to neselektivních, např. pro ohřev pouze v letním období (např. v rekreačních objektech), případně selektivních pro celoroční ohřev. Tepelné ztráty u neselektivních absorbérů s klesající teplotou rychle rostou, jak potvrdilo i měření v laboratoři z kolektoru Reflex NBC 18A.

Pokud uvažujeme současně ohřev TUV a přitápění, je nutné použít buď kvalitní selektivní ploché kolektory nebo lépe trubicové kolektory s vakuovou izolací. Trubicové kolektory by měly být schopny ohřát teplotonosnou kapalinu na teplotu dostatečnou pro přitápění i v zimním období při nízkých teplotách.



Obr. 33: Vhodnost jednotlivých typů kolektorů pro účely ohřevu bazénů, ohřev TUV a přitápění

Jak ovšem ukázalo měření v laboratoři, i v podzimním období jsou selektivní ploché kolektory schopny dosáhnout podobných výkonů jako trubkové kolektory. Navíc plochý kolektor má obvykle vyšší optickou účinnost než trubkový. Projektant solárního systému by měl vždy dobře propočítat, zda je vhodnější volit menší pole z dražších trubkových kolektorů nebo plošně větší kolektorové pole z plochých kolektorů. V letním a přechodném období budou zisky obdobné a v zimním období může menší zisky plochého kolektoru kompenzovat právě větší plocha pole. Proti nadměrným ziskům v létě se může systém chránit např. nočním vychlazením nádrže, případně automatickým zakrýváním části kolektorového pole, pokud je nádrž zahřátá na dostatečnou teplotu.

5.3. Návrh „ideálního“ kolektoru

„Ideální“ kolektor je třeba navrhovat zejména s ohledem na předpokládané použití, nízkou cenu a použití materiálů s malou specifickou spotřebou energie (viz. kap. 2.1). Pokud se nejedná o obyčejný plastový bazénový absorbér, je třeba dávat vždy maximální pozor na dokonalé odizolování kolektoru. Jak se ukázalo u dvou podobných kolektorů firmy Thermosolar, je vhodné i u plochého kolektoru využít vakuovou izolaci. Kolektor s takovouto

izolací opravdu dosahuje mnohem vyšších zisků, než kolektor s klasickou izolací. Vakuová izolace totiž zmenšuje tepelné ztráty i přední stranou kolektoru, kde u klasické konstrukce dochází k úniku velkého množství tepla. Navíc se na výrobu kolektoru spotřebuje menší množství materiálu, a tím klesá i hmotnost kolektoru. To umožňuje výrobu kolektorů s větší plochou, která je vždy výhodnější z hlediska relativních ztrát boky skříně. Klasicky odizolovaný kolektor má hmotnost vyšší a jeho velikost je tak omezena se zřetelem na to, aby s ním bylo možno při sestavování kolektorového pole na střeše lehce manipulovat.

Z měření dále vyplynulo, že je velmi důležité dávat velký důraz na dokonalé selektivní povrstvení absorberu. Plochý kolektor s takto upraveným absorberem může během velké části roku konkurovat mnohem dražším trubicovým kolektorům. Naopak způsob provedení rámu kolektoru nemá na výkony takový vliv a je volen zejména s ohledem na cenu a specifickou energii spotřebovanou na výrobu.

5.4. *Ekonomika solárních systémů*

Mnoho zájemců o koupi solárního systému odrazuje zdánlivě vysoká pořizovací cena. Avšak i v podmínkách České republiky je jednoduchý solární systém pro ohřev TUV schopen dodat velké množství energie. Tím by se omezila spotřeba neobnovitelných zdrojů pouze na dohřev TUV v období s nedostatečným slunečním svitem.

Pro jednoduchý výpočet ekonomické návratnosti solárního systému budeme uvažovat použití pouze pro celoroční ohřev TUV bez dlouhodobé akumulace pro 4 osoby. Solární systém by byl umístěn v Praze, orientován na jih a kolektory nakloněny pod úhlem 45°.

Oproti nákladům na solární systém budeme uvažovat ohřev TUV zemním plynem a elektřinou. Jako bivalentní zdroj pro solární systém se uvažuje také plyn, případně elektřina.

Mnoho výrobců již dnes nabízí kompletní solární stavebnice se všemi potřebnými komponenty. Pro tento výpočet byl jako příklad zvolen systém TUV400ECO firmy SOLARPOWER. Stavebnice je určena pro 3-5 osob a obsahuje tři kusy kolektorů SK500N, solární nádrž o objemu 400 l, čerpadlovou a řídicí jednotku, expanzomat, nemrznoucí kapalinu a nerezové propojovací potrubí s příslušenstvím. Cena tohoto kompletu je 90 900 Kč bez DPH.

Pro výpočet je uvažována spotřeba 75 l TUV pro člověka na den, teplota studené vody 10 °C a teplé vody 55 °C.

Výpočet spotřebované energie a energie, kterou získá solární soustava, lze provést podle kap. 1.2.1. Během letní provozu však solární soustava dodává většinou více energie, než je potřeba, a tak za skutečný solární zisk v tomto období můžeme považovat pouze tu energii, která se ihned spotřebuje. Tato soustava totiž neumožňuje dlouhodobou akumulaci. Z **tab. 2** je patrné, že solární soustava plně pokrývá spotřebu od června do září, celkové pokrytí je 67 % během celého roku. Průměrná účinnost kolektorů je 0,53.

Spotřeba pro jednu osobu na den je přibližně 3,9 kWh, měsíční a roční spotřeba pro 4 osoby je patrná z **tab. 2**.

Údaje pro Prahu, orientaci na jih a sklon 45°	měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	suma
Q_{směs}	[kWh/m ²]	33,8	57,7	104,5	129,0	170,2	176,4	180,1	154,4	120,3	70,4	32,7	22,3	
G_{stř}	[W/m ²]	412	490	558	580	600	590	600	580	558	490	412	344	
T_{ass}	[°C]	2,2	3,4	6,5	12,1	16,6	20,6	22,5	22,6	19,4	13,8	7,3	3,5	
dopadlá energie	[kWh]	220,0	375,6	680,3	839,8	1108,0	1148,4	1172,5	1005,1	783,2	458,3	212,9	145,2	8149,2
x	[m ² K/W]	0,092	0,075	0,060	0,048	0,039	0,033	0,029	0,030	0,037	0,053	0,079	0,106	
η	[-]	0,369	0,448	0,518	0,575	0,617	0,646	0,663	0,659	0,628	0,552	0,430	0,305	
získaná energie	[kWh]	81,3	168,5	352,1	482,6	684,0	741,7	777,1	662,5	491,6	252,8	91,6	44,3	
dnů	[-]	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	
spotřeba	[kWh]	486,6	439,5	486,6	470,9	486,6	470,9	486,6	486,6	470,9	486,6	470,9	486,6	5729,6
využitelný zisk	[kWh]	81,3	168,5	352,1	470,9	486,6	470,9	486,6	486,6	470,9	252,8	91,6	44,3	3863,1
dohřev	[kWh]	405,4	271,1	134,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	233,8	379,3	442,4	1866,4

Tab. 2: Výpočet zisků a spotřeby energie pro ohřev TUV, údaje Q_{Směs}, G_{stř} a T_{ass} podle [9]

Pro daný příklad vychází roční spotřeba energie 5,73 MWh. Z této hodnoty je schopen získat solární systém 3,86 MWh a zbylých 1,87 MWh je třeba získat z bivalentního zdroje. Pro rok 2007 jsou stanoveny ceny za toto množství energie (dodavatelé Pražská energetika a Pražská plynárenská) takto:

	elektřina	plyn
celá spotřeba: 5,73 MWh/rok	14500 Kč/rok	7100 Kč/rok
dohřev: 1,87 MWh/rok	8000 Kč/rok	3000 Kč/rok

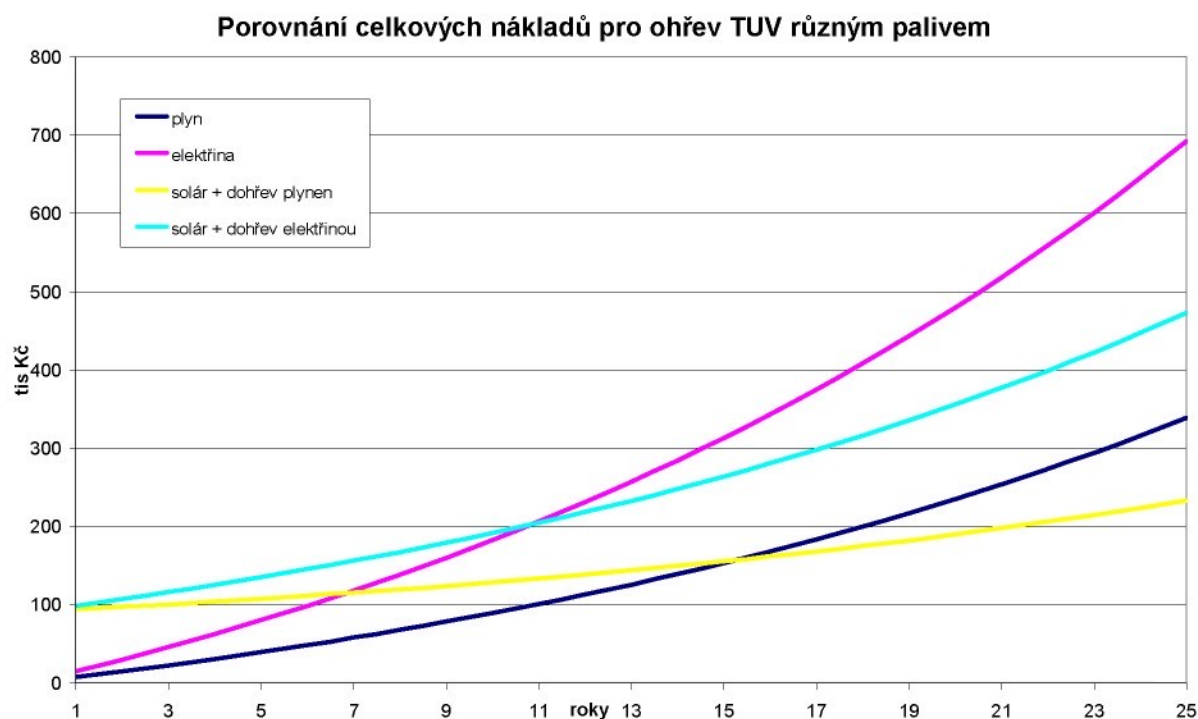
Tab. 3: Ceny energií pro ukázkový výpočet ekonomické návratnosti solárního systému

Důležitou otázkou je životnost solárního systému, běžně se hovoří o 25 letech. Pokud bychom uvažovali 5% růst energií ročně, budou po této době roční náklady na ohřev TUV 3x vyšší než v prvním roce, v případě 10% nárůstu dokonce téměř 10x vyšší!

Celkové náklady za 25 let provozu, včetně nákladu na pořízení solárního systému a při předpokladu 5% ročního růstu ceny energií, jsou patrné z **tab. 4**.

celkové náklady na ohřev TUV	elektrina	plyn
bez solárního systému za 25 let	692 tis. Kč	339 tis. Kč
solární systém + dohřev za 25 let	233 tis. Kč	473 tis. Kč

Tab. 4: Celkové náklady na ohřev TUV po 25 letech provozu včetně nákladů na pořízení solárního systému v tisících Kč při uvažování 5% ročního růstu ceny energií



Obr. 34: Porovnání nákladů na ohřev TUV při použití sol. systému, elektřiny a plynu

Diskuse výpočtu:

Z **obr. 34** vyplývá, že v případě bivalentního dohřevu elektřinou se výše uvedený solární systém začne vyplácet již po necelých 7 letech, při dohřevu plynem asi po 15 letech. Pokud bychom však uvažovali 10% roční nárůst ceny energií, zkrátí se tato doba na 6 resp.

12 let. Náklady v případě dohřevu elektřinou jsou vyšší než náklady, pokud bychom ohřivali TUV pouze plynem, ale cena za elektřinu počítá pouze s nízkým tarifem. Pokud by bylo možno získat levnější tarif, náklady by značně klesly. V tomto případě je rozhodující vysoká počáteční investice do solárního systému.

Ve výpočtu však není uvažováno pořízení bivalentního zdroje, zejména plynového kotle, případně bojleru. Pokud není k dispozici kotel např. pro vytápění, vychází návratnost solárního systému ještě příznivěji. Dále výpočet nezohledňuje náklady na údržbu systému.

Bohužel v naší republice nemůže dosud projektant počítat s jistotou státní podpory, což celý ekonomický propočet velmi komplikuje. Výše státní podpory pro systémy na ohřev TUV se však může pohybovat až ve výši 30 % nákladů, max. ale 50 000,- Kč. Bohužel je státní podpora „nenárokovatelná.“ To znamená, že podporu sice investor dostat může, ale na podpory je vždy vyhrazena jen určitá část státního rozpočtu, a v případě jejího vyčerpání se na některé projekty v daném roce nemusí najít peníze. Například v Rakousku získá investor po splnění předem známých kritérií pevnou částku za pořízení solárního systému, plus určitou další částku za každý m² plochy kolektorů.

6. Závěr

Práce se zabývá měřením a analýzou dat v dokončované solární laboratoři umístěné v areálu Technické univerzity v Liberci. Součástí laboratoře je nejenom samotné kolektorové pole s rozvodem, čerpadly, solární nádrží a čerpadlovou jednotkou, ale i meteorologická stanice a samostatný systém pro řízení laboratoře, sběr, zpracování a ukládání naměřených dat. Jedinečnost laboratoře spočívá v možnosti sledovat velké množství různých kolektorů současně při dostatečné flexibilitě a univerzálnosti. Kromě dlouhodobého měření kolektorů se počítá s využitím pro měření provozních charakteristik dalších komponent (solární nádrže, transparentní izolace, povrstvení absorberů). V lednu roku 2006 byl zahájen plný provoz meteorologické stanice, v polovině roku se dokončilo technologické zapojení všech prvků části laboratoře pro testování solárních kolektorů. Zkušební měření byla zahájena během září 2006 a současně došlo k finálnímu doladění systému. Ověřovací měření prokázala, že dva průtokoměry vykazovaly nesprávné údaje a příslušné kolektory VK 25 a FSC 24 byly z dalšího testování vyřazeny.

Vlastním cílem bylo porovnat jednotlivé typy kolektorů vzájemně a ověřit vhodnost jejich použití v reálných podmínkách s ohledem na jejich perspektivní nasazení v regionu ve srovnání s deklarovanými údaji výrobců zjištěnými v laboratorních podmínkách. Výhodou experimentu byla možnost uspořádat testované panely do logické sestavy (seřazení na vhodný průtok s ohledem na plochu absorberu, paralelní propojení pro minimalizaci rozdílu vstupních teplot do jednotlivých kolektorů, shodná orientace ke světovým stranám a shodný sklon), nevýhodou naopak krátká doba měření (zprovoznění laboratoře až ve druhé polovině roku 2006).

Naměřené údaje zobrazené v grafu účinnosti v závislosti na redukovaném teplotním rozdílu x netvoří křivku, jako při měření v laboratorních podmínkách, ale určitou pracovní oblast, ve které se účinnost kolektoru η během jeho funkce pohybuje. Velikost pracovní oblasti je dána rozptylem teplot okolí T_a při kterých kolektor pracoval, hodnotami solárního ozáření a úhlem dopadu slunečních paprsků na kolektor. Vzhledem ke krátké době měření je pracovní oblast poměrně malá.

Po dobu měření se jako nejúčinnější (podle celkové získané energie v kWh/m^2) ukázal kolektor Thermosolar H400V. Tento kolektor má jako jediný plochý vakuovou izolaci a oproti kolektoru H300 stejného výrobce, obdobné konstrukce a velikosti vykazoval za dobu

měření účinnost o 10 až 15 % vyšší. Vakuová izolace zabraňuje tepelným ztrátám i přední stranou kolektoru, kudy klasicky odizolovanými kolektory uniká nejvíce tepla.

Další skupinu s dobrými ukazateli tvořily kolektory se selektivním povrchem Sonnenkraft SK 500N, Viessmann Vitosol 100 1,7 s a Viessmann Vitosol 200 D20 a Thermosolar H300. Trubicový kolektor Vitosol 200 D20 svými výkony zaostal za očekáváním. Pracovní oblast tohoto kolektoru je ve sledovaném období blízká pracovní oblasti plochého kolektoru Vitosol 100 1,7 s. Ve sledovaném období se tedy nejvíce projevily selektivní vlastnosti absorberu a samotná konstrukce pouze minimálně. Nárůst výkonů díky konstrukci s vakuovou izolací se dá očekávat za zhoršených povětrnostních podmínek v zimním období. Nárůst ceny trubicových kolektorů způsobený složitější konstrukcí se ve sledovaném období neukázal jako oprávněný.

Jako nejméně účinný se ukázal kolektor s neselektivním povrchem Reflex NBC 18A. Vzhledem k nízké ceně lze však i tento kolektor doporučit například k ohřevu TUV v letním období. Údaje naměřené kolektorem NAU se natolik liší od výkonu očekávaného u neselektivního kolektoru, že je nutné tyto údaje ověřit dlouhodobějším měřením.

Pracovní oblasti všech kolektorů se pohybovaly níže než udávají výrobci resp. níže než výsledky laboratorních měření solárního institutu SPF. Námi měřené charakteristiky nemohou sloužit pro klasifikaci výrobků, ale ověřením v reálném provozu poskytují užitečnější informace pro projektanty solárních systémů než laboratorní výsledky. Vzhledem k možnosti připojení dalších kolektorů je možné zkoušet nové typy a laboratoř se tak může stát zajímavou eventualitou pro výrobce, jak testovat nové typy kolektorů v porovnání s kolektory ostatních výrobců.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 12 975 – Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory. ČSNI. 2001
- [2] ČSN EN 12 976 – Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy průmyslově vyráběné. ČSNI. 2001
- [3] Fischer, S., Heidemann, W., Müller-Steinhagen, H., Peres, B., Bergquist, P., Hellström, B.: Collector test method under quasi-dynamic conditions according to the European Standard EN 12975-2. Solar Energy, Vol. 76, str. 117-123. Elsevier Science Ltd. 1997
- [4] Matuška, T.: Měření parametrů solárního kolektoru a systému. www.tzb-info.cz. 2004
- [5] Matuška, T.: Stanovení účinnosti plochého solárního kolektoru. www.tzb-info.cz. 2004
- [6] Matuška, T.: Transparentní izolace a jejich využití v solární technice. Disertační práce. ČVUT 2003. Praha
- [7] Reim, M., Körner, W.: Silica aerogel granulate material for thermal insulation and daylighting. Solar Energy, Vol. 79, str. 131-139. Elsevier Science Ltd. 2005
- [8] Ladener, A., Späte, F.: Solární zařízení. Praha. Grada Publishing. 2003
- [9] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Praha. T. Malina. 1994
- [10] Matuška, T.: Trendy v solární tepelné technice (III) - Solární kolektory. Dostupné na www.tzb-info.cz. 11/2006
- [11] Chyský J., Hemzal K.: Větrání a klimatizace. Brno. BOLIT – B press. 1993
- [12] Cihelka, J.: Solární vytápěcí systémy. Praha. 1984
- [13] Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům. Brno. 2003
- [14] Internetové stránky a prospekty výrobců solárních zařízení

Seznam příloh

Příloha č. 1: Tabulka s parametry všech kolektorů v solární laboratoři na TUL

Příloha č. 2: Celkové schéma laboratoře

Příloha č. 3: Seznam všech veličin v databázi solární laboratoře

Příloha č. 4: Ukázka struktury databáze

Příloha č. 5: Ukázka vizualizačního programu ASPIC

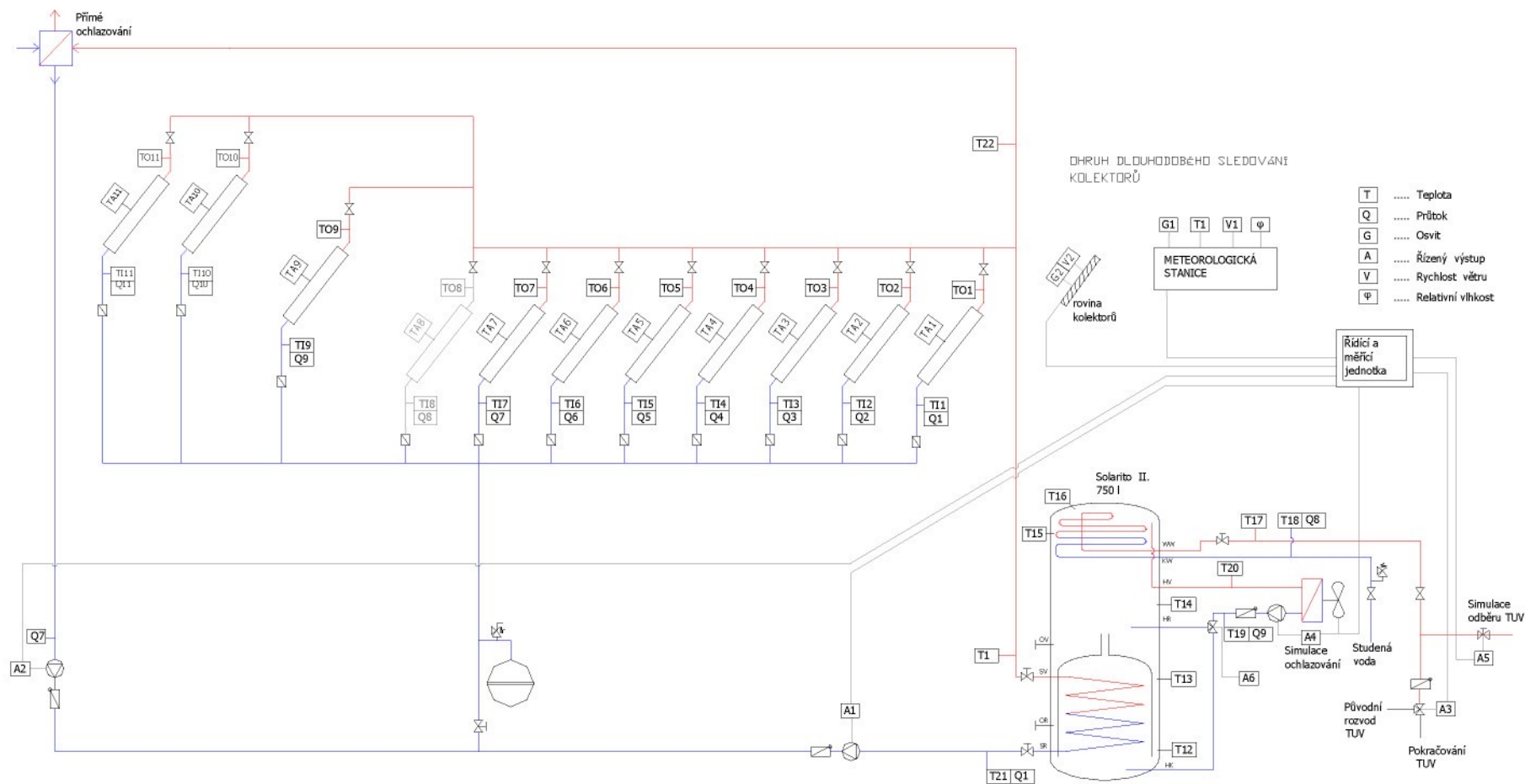
Příloha č. 6: Ukázka zkušebního protokolu institutu SPF

Příloha č. 1: Tabulka s parametry všech kolektorů v solární laboratoři na TUL

Číslo kolektoru	Výrobce	Model	celková plocha [m ²]	plocha apertury [m ²]	absorbční plocha [m ²]	c ₀ [-]	c ₁ [W/m ² K]	c ₂ [W/m ² K ²]	Klidová teplota [°C]	Cena bez DPH [Kč]
1	NAU		2,730		2,430					
2	Reflex	NBC 18 A	1,824		1,570					
3	Thermosolar	H300	2,024		1,742	0,790	4,170	0,0110		8400
4	Thermosolar	H400V	2,030		1,717	0,810	2,610	0,0080		14200
5	Sonnenkraft	SK 500 N	2,573	2,204	2,170	0,806	3,680	0,0072	210	14900
6	Reflex	FSC 24	2,370		2,140					13490
7	GreenOneTec	VK25	2,570	2,210	2,360				270	34900
8	<i>volná pozice</i>									
9	Viessmann	Vitosol 100 s 1,7	1,795	1,700	1,610	0,780	3,070	0,0170	213	
10	Viessmann	Vitosol 200 D20	2,897	2,158	2,031	0,860	2,360	0,0022	300	48710
11	Viessmann	Vitosol 300 D20	2,930	2,189	1,977	0,847	1,390	0,0058	150	63680

tučně jsou označeny údaje naměřené institutem SPF
kurzívou jsou označeny údaje výrobce
parametry c₀, c₁, c₂ jsou vztaženy na plochu absorberu

Příloha č. 2: Celkové schéma laboratoře



Příloha č. 3: Seznam všech veličin v databázi solární laboratoře

Sloupec IDA..... číslo veličiny

Sloupec JMENO..... název veličiny

Sloupec IDA_MIN číslo minima stejné veličiny (pokud neexistuje hodnota = 0)

Sloupec IDA_MAX číslo maxima stejné veličiny (pokud neexistuje hodnota = 0)

IDA	JMENO	IDA_MIN	IDA_MAX
1	Total Irradiation on Horizontal Plane Maximum	0	0
2	Total Irradiation on Horizontal Plane	3	1
3	Total Irradiation on Horizontal Plane Minimum	0	0
4	Ambient Temperature in Shade Maximum	0	0
5	Ambient Temperature in Shade	6	4
6	Ambient Temperature in Shade Minimum	0	0
7	Wind Speed Maximum	0	0
8	Wind Speed	9	7
9	Wind Speed Direction	0	0
10	PV Generator Array Plane Irradiation Maximum	0	0
11	PV Generator Array Plane Irradiation	12	10
12	PV Generator Array Plane Irradiation Minimum	0	0
13	Reference Sensor Temperature Maximum	0	0
14	Reference Sensor Temperature	15	13
15	Reference Sensor Temperature Minimum	0	0
16	PV Generator Cell Temperature Maximum	0	0
17	PV Generator Cell Temperature	18	16
18	PV Generator Cell Temperature Minimum	0	0
19	PV Generator Voltage Maximum	0	0
20	PV Generator Voltage	21	19
21	PV Generator Voltage minimum	0	0
22	PV Generator Current Maximum	0	0
23	PV Generator Current	24	22
24	PV Generator Current Minimum	0	0
25	PV Generator Power Maximum	0	0
26	PV Generator Power	27	25
27	PV Generator Power Minimum	0	0
28	Inverter AC Power Out Maximum	0	0
29	Inverter AC Power Out	30	28
30	Inverter AC Power Out Minimum	0	0
31	AC Energy to Utility Grid	0	0
50	Rychlost vetru	0	0
51	Smer vetru	0	0
52	Venkovni teplota	0	0
53	Vlhkost	0	0
54	Tlak	0	0
55	Zareni 0	0	0
56	Zareni 45	0	0
57	Vnitri teplota	0	0
60	K1A_NEZAPOJEN_protékly_objem	0	0
61	K1A_NEZAPOJEN_okamzity_prutok	0	0
62	K1A_NEZAPOJEN_teplota_DO_kolektoru	0	0
63	K1A_NEZAPOJEN_teplota_Z_kolektoru	0	0

64	K1A_NEZAPOJEN_ziskane_teplo	0	0
65	K1A_NEZAPOJEN_tepelny_vykon	0	0
66	K1B_NEZAPOJEN_protekly_objem	0	0
67	K1B_NEZAPOJEN_okamzity_prutok	0	0
68	K1B_NEZAPOJEN_teploτα_DO_kolektoru	0	0
69	K1B_NEZAPOJEN_teploτα_Z_kolektoru	0	0
70	K1B_NEZAPOJEN_ziskane_teplo	0	0
71	K1B_NEZAPOJEN_tepelny_vykon	0	0
72	K2A_VK_25_protekly_objem	0	0
73	K2A_VK_25_okamzity_prutok	0	0
74	K2A_VK_25_teploτα_DO_kolektoru	0	0
75	K2A_VK_25_teploτα_Z_kolektoru	0	0
76	K2A_VK_25_ziskane_teplo	0	0
77	K2A_VK_25_tepelny_vykon	0	0
78	K2B_FSC_24_protekly_objem	0	0
79	K2B_FSC_24_okamzity_prutok	0	0
80	K2B_FSC_24_teploτα_DO_kolektoru	0	0
81	K2B_FSC_24_teploτα_Z_kolektoru	0	0
82	K2B_FSC_24_ziskane_teplo	0	0
83	K2B_FSC_24_tepelny_vykon	0	0
84	K3A_Vitosol_200_protekly_objem	0	0
85	K3A_Vitosol_200_okamzity_prutok	0	0
86	K3A_Vitosol_200_teploτα_DO_kolektoru	0	0
87	K3A_Vitosol_200_teploτα_Z_kolektoru	0	0
88	K3A_Vitosol_200_ziskane_teplo	0	0
89	K3A_Vitosol_200_tepelny_vykon	0	0
90	K3B_Vitosol_300_protekly_objem	0	0
91	K3B_Vitosol_300_okamzity_prutok	0	0
92	K3B_Vitosol_300_teploτα_DO_kolektoru	0	0
93	K3B_Vitosol_300_teploτα_Z_kolektoru	0	0
94	K3B_Vitosol_300_ziskane_teplo	0	0
95	K3B_Vitosol_300_tepelny_vykon	0	0
96	K4A_Thermosolar_H400V_protekly_objem	0	0
97	K4A_Thermosolar_H400V_okamzity_prutok	0	0
98	K4A_Thermosolar_H400V_teploτα_DO_kolektoru	0	0
99	K4A_Thermosolar_H400V_teploτα_Z_kolektoru	0	0
100	K4A_Thermosolar_H400V_ziskane_teplo	0	0
101	K4A_Thermosolar_H400V_tepelny_vykon	0	0
102	K4B_Thermosolar_H300_protekly_objem	0	0
103	K4B_Thermosolar_H300_okamzity_prutok	0	0
104	K4B_Thermosolar_H300_teploτα_DO_kolektoru	0	0
105	K4B_Thermosolar_H300_teploτα_Z_kolektoru	0	0
106	K4B_Thermosolar_H300_ziskane_teplo	0	0
107	K4B_Thermosolar_H300_tepelny_vykon	0	0
108	K5A_NAU_protekly_objem	0	0
109	K5A_NAU_okamzity_prutok	0	0
110	K5A_NAU_teploτα_DO_kolektoru	0	0
111	K5A_NAU_teploτα_Z_kolektoru	0	0
112	K5A_NAU_ziskane_teplo	0	0
113	K5A_NAU_tepelny_vykon	0	0
114	K5B_NBC_18_protekly_objem	0	0
115	K5B_NBC_18_okamzity_prutok	0	0

116	K5B_NBC_18_tepłota_DO_kolektoru	0	0
117	K5B_NBC_18_tepłota_Z_kolektoru	0	0
118	K5B_NBC_18_ziskane_tepło	0	0
119	K5B_NBC_18_tepelny_vykon	0	0
120	K6A_SK_500N_protekly_objem	0	0
121	K6A_SK_500N_okamzity_prutok	0	0
122	K6A_SK_500N_tepłota_DO_kolektoru	0	0
123	K6A_SK_500N_tepłota_Z_kolektoru	0	0
124	K6A_SK_500N_ziskane_tepło	0	0
125	K6A_SK_500N_tepelny_vykon	0	0
126	K6B_VITOSOL_1,7S_protekly_objem	0	0
127	K6B_VITOSOL_1,7S_okamzity_prutok	0	0
128	K6B_VITOSOL_1,7S_tepłota_DO_kolektoru	0	0
129	K6B_VITOSOL_1,7S_tepłota_Z_kolektoru	0	0
130	K6B_VITOSOL_1,7S_ziskane_tepło	0	0
131	K6B_VITOSOL_1,7S_tepelny_vykon	0	0
132	K7A_STROJOVNA_protekly_objem	0	0
133	K7A_STROJOVNA_okamzity_prutok	0	0
134	K7A_STROJOVNA_tepłota_DO_kolektoru	0	0
135	K7A_STROJOVNA_tepłota_Z_kolektoru	0	0
136	K7A_STROJOVNA_ziskane_tepło	0	0
137	K7A_STROJOVNA_tepelny_vykon	0	0
138	K7B_STROJOVNA_protekly_objem	0	0
139	K7B_STROJOVNA_okamzity_prutok	0	0
140	K7B_STROJOVNA_tepłota_Z_chladice	0	0
141	K7B_STROJOVNA_tepłota_DO_chladice	0	0
142	K7B_STROJOVNA_odvedene_tepło	0	0
143	K7B_STROJOVNA_tepelny_vykon	0	0
144	K8A_STROJOVNA_protekly_objem	0	0
145	K8A_STROJOVNA_okamzity_prutok	0	0
146	K8A_STROJOVNA_tepłota_nadrze_dole	0	0
147	K8A_STROJOVNA_tepłota_nadrze_nahore	0	0
148	K8A_STROJOVNA_ziskane_tepło	0	0
149	K8A_STROJOVNA_tepelny_vykon	0	0
150	K8B_SOLARNI_OKRUH_protekly_objem	0	0
151	K8B_SOLARNI_OKRUH_okamzity_prutok	0	0
152	K8B_SOLARNI_OKRUH_tepłota_DO_okruhu	0	0
153	K8B_SOLARNI_OKRUH_tepłota_Z_okruhu	0	0
154	K8B_SOLARNI_OKRUH_ziskane_tepło	0	0
155	K8B_SOLARNI_OKRUH_tepelny_vykon	0	0

Příloha č. 4: Ukázka struktury databáze

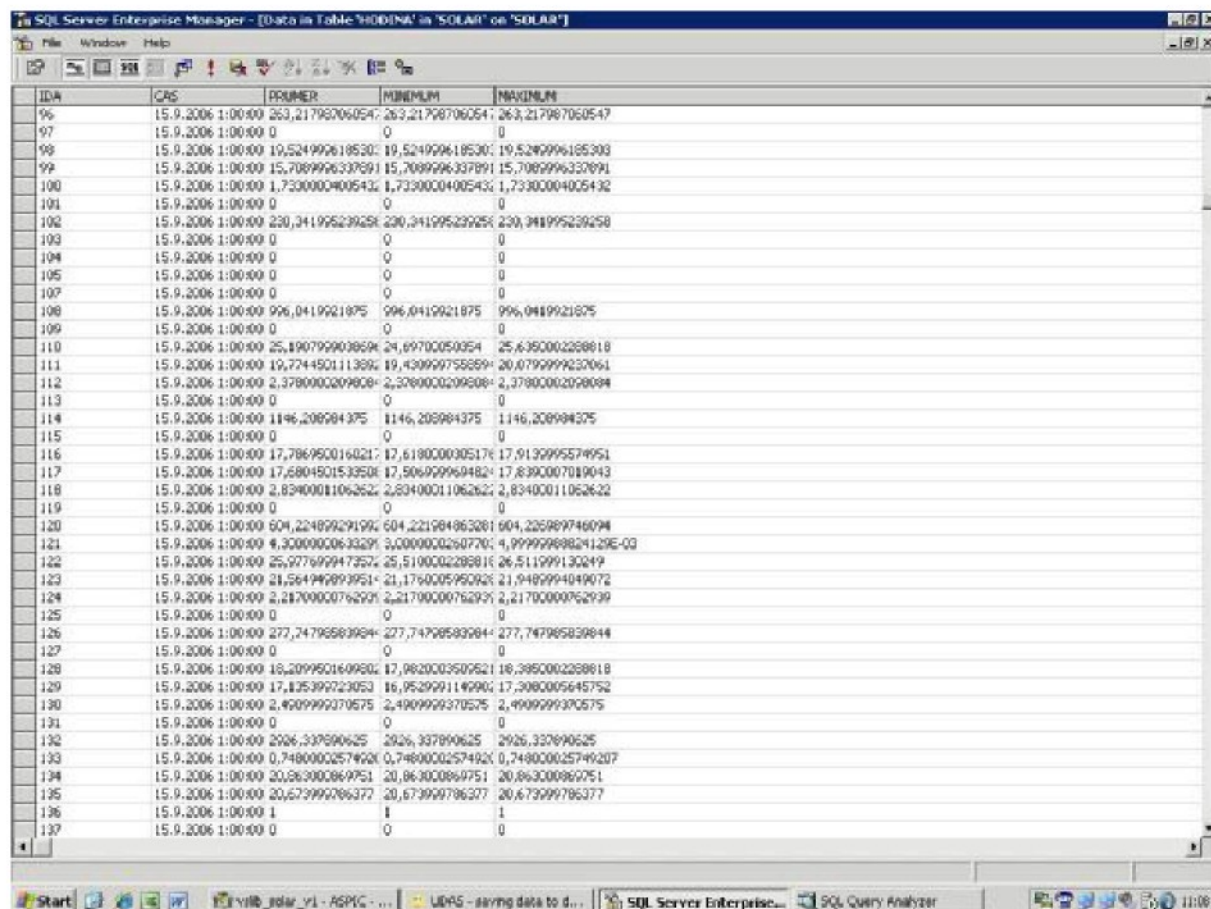
Sloupec IDA.....číslo veličiny (viz **příloha č. 3**)

Sloupec CAS.....časová značka

Sloupec PRUMER.....průměrná hodnota veličiny za hodinu

Sloupec MINIMUMminimální hodnota veličiny za hodinu

Sloupec MAXIMUMmaximální hodnota veličiny za hodinu



IDA	CAS	PRUMER	MINIMUM	MAXIMUM
96	15.9.2006 1:00:00	263,217987060547	263,217987060547	263,217987060547
97	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
98	15.9.2006 1:00:00	19,5249926185301	19,5249926185301	19,5249926185301
99	15.9.2006 1:00:00	15,7089996337891	15,7089996337891	15,7089996337891
100	15.9.2006 1:00:00	1,73300004005432	1,73300004005432	1,73300004005432
101	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
102	15.9.2006 1:00:00	230,341995239258	230,341995239258	230,341995239258
103	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
104	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
105	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
107	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
108	15.9.2006 1:00:00	996,0419921875	996,0419921875	996,0419921875
109	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
110	15.9.2006 1:00:00	25,4907999038594	24,69700050054	25,4907999038594
111	15.9.2006 1:00:00	19,7744901113892	19,4309997558894	20,0799999237061
112	15.9.2006 1:00:00	2,3780000209808	2,3080000209808	2,3780000209808
113	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
114	15.9.2006 1:00:00	1146,208984375	1146,208984375	1146,208984375
115	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
116	15.9.2006 1:00:00	17,7869500160217	17,6180000305174	17,9139995574951
117	15.9.2006 1:00:00	17,5804501533508	17,5069999694824	17,63900070119043
118	15.9.2006 1:00:00	2,83400011062622	2,63400011062622	2,83400011062622
119	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
120	15.9.2006 1:00:00	604,224899291992	604,221984963281	604,226899746094
121	15.9.2006 1:00:00	4,30000000633291	3,00000002607702	4,999999988241295-03
122	15.9.2006 1:00:00	25,9776999473524	25,5190002288816	26,511999130249
123	15.9.2006 1:00:00	21,5649428939514	21,1760005952926	21,9489994049072
124	15.9.2006 1:00:00	2,21700000762931	2,21700000762931	2,21700000762931
125	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
126	15.9.2006 1:00:00	277,747985839844	277,747985839844	277,747985839844
127	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
128	15.9.2006 1:00:00	18,20999021609502	17,9820003507621	18,3980002288818
129	15.9.2006 1:00:00	17,135392723053	16,9529291140902	17,30800005645752
130	15.9.2006 1:00:00	2,49099992370575	2,49099992370575	2,49099992370575
131	15.9.2006 1:00:00	0	0	0
132	15.9.2006 1:00:00	2926,3378990625	2926,3378990625	2926,3378990625
133	15.9.2006 1:00:00	0,74800002574928	0,74800002574928	0,74800002574928
134	15.9.2006 1:00:00	20,8630000869751	20,8630000869751	20,8630000869751
135	15.9.2006 1:00:00	20,673999796377	20,673999796377	20,673999796377
136	15.9.2006 1:00:00	1	1	1
137	15.9.2006 1:00:00	0	0	0

Příloha č. 5: Ukázka vizualizačního programu ASPIC

