



3 Dimenzovanie solárneho kolektorového systému na ohrev TÚV v rodinnom dome



3.1 Výpočet dennej spotreby tepla na ohrev TÚV

$$Q = \frac{c \rho O (t_K - t_Z)}{3,6 \cdot 10^6} \quad kWh.den^{-1} \quad (12)$$

c - hmotnostná tepelná kapacita vody = 4186 J.kg⁻¹.K⁻¹

ρ - hustota vody = 1000 kg.m⁻³

O - je objem zásobníka TÚV = 300 l = 0,3 m³

t_K - konečná teplota zásobníka = 50 °C

t_Z - začiatková teplota zásobníka = 18 °C

$$Q = \frac{4186 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} \cdot 1000 kg \cdot m^{-3} \cdot 0,3 m^3 \cdot (50 - 18) K}{3,6 \cdot 10^6} = 11,16 kWh.den^{-1}$$

3.2 Výpočet energie dopadajúcej na 1m² oslnenej plochy za 1 deň - E_I

Pre výpočet energie dopadajúcej na 1 m² oslnenej plochy potrebujeme poznať pomernú dobu slnečného svitu (vid'. tabuľka 6) pre konkrétnu lokalitu a teoreticky možnú dávku ožiarenia H_{T,den,teor} [kWh.m⁻²] dopadajúcu za 1 deň na jednotku oslnenej plochy v jednotlivých mesiacoch pri ideálnej orientácii oslnenej plochy na juh.

Tabuľka 6 Teoreticky možná energia H_{T,den,teor} [kWh.m⁻²] dopadajúca za deň na jednotku plochy

Uhol sklonu oslnenej plochy β	Teoreticky možná energia H _{T,den,teor} [kWh. m ⁻²] dopadajúca za deň na jednotku plochy v jednotlivých mesiacoch											
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Azimutový uhol oslnenej plochy γ = ± 0° orientácia na juh												
0°	1,48	2,49	4,29	6,08	7,60	8,26	7,85	6,59	4,83	3,01	1,74	1,20
15°	2,30	3,47	5,27	6,83	8,16	8,75	8,36	7,23	5,69	3,95	2,58	1,95
30°	3,00	4,25	5,94	7,20	8,28	8,77	8,42	7,49	6,23	4,68	3,28	2,59
45°	3,52	4,79	6,28	7,16	7,94	8,30	8,02	7,33	6,42	5,13	3,79	3,07
60°	3,83	5,04	6,25	6,73	7,16	7,39	7,18	6,77	6,24	5,28	4,07	3,37
75°	3,90	4,99	5,86	5,93	6,01	6,08	5,97	5,84	5,72	5,12	4,10	3,46
90°	3,73	4,63	5,13	4,81	4,55	4,48	4,46	4,61	4,87	4,66	3,89	3,34

$$E_1 = \tau_r \cdot H_{T, \text{den, teor}} \quad \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1} \quad (13)$$

a) Výpočet energie dopadajúcej na 1 m² oslnenej plochy za 1 deň pre zimné obdobie – mesiace december, január, február podľa vzťahu 13.

$$E_{1 \text{ dec}} = 0,20 \cdot 3,07$$

$$E_{1 \text{ dec}} = 0,61 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1 \text{ jan}} = 0,25 \cdot 3,52$$

$$E_{1 \text{ jan}} = 0,88 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1 \text{ feb}} = 0,35 \cdot 4,79$$

$$E_{1 \text{ feb}} = 1,67 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

b) Výpočet energie dopadajúcej na 1 m² oslnenej plochy za 1 deň pre jaré obdobie – mesiace marec, apríl, máj.

$$E_{1 \text{ mar}} = 0,46 \cdot 6,28$$

$$E_{1 \text{ mar}} = 2,88 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1 \text{ apr}} = 0,50 \cdot 7,16$$

$$E_{1 \text{ apr}} = 3,58 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1 \text{ máj}} = 0,56 \cdot 7,94$$

$$E_{1 \text{ máj}} = 4,44 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

c) Výpočet energie dopadajúcej na 1 m² oslnenej plochy za 1 deň pre letné obdobie – mesiace jún, júl, august.

$$E_{1 \text{ jún}} = 0,59 \cdot 8,30$$

$$E_{1 \text{ jún}} = 4,89 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1 \text{ júl}} = 0,66 \cdot 8,02$$

$$E_{1 \text{ júl}} = 5,29 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1 \text{ aug}} = 0,66 \cdot 7,33$$

$$E_{1 \text{ aug}} = 4,83 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

d) Výpočet energie dopadajúcej na 1 m² oslnenej plochy za 1 deň pre jesenné obdobie – mesiace september, október, november.

$$E_{1 \text{ sept}} = 0,63 \cdot 6,42$$

$$E_{1 \text{ sept}} = 4,04 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1\text{okt}} = 0,47 \cdot 5,13$$

$$E_{1\text{okt}} = 2,41 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{1\text{nov}} = 0,25 \cdot 3,79$$

$$E_{1\text{nov}} = 0,94 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

3.3 Určenie účinnosti slnečného kolektora η_K

Pri určovaní účinnosti slnečného kolektora by sme mali vychádzať z technických údajov uvedených výrobcom, nakoľko sa však často stáva, že uvádzané údaje nie sú dostatočne presné resp. výrobca uvádza maximálnu účinnosť alebo iba tzv. optickú účinnosť slnečného kolektora, pre ďalší výpočet použijeme nasledovnú tabuľku bez ohľadu na údaje uvádzané výrobcom., čím dosiahneme optimalizáciu ďalšieho výpočtu a zabezpečíme minimálne odchýlky získaných výsledkov od reálneho stavu.

Tabuľka 7 Účinnosť slnečných kolektorov η_K

Obdobie	Účinnosť η_K			
	Plochý kolektor		Vákuový kolektor	
Zima	20 %	0,20	40 %	0,40
Jar - jeseň	(40 - 60) %	0,40 - 0,60*	60 %	0,60
Leto	80 %	0,80	100 %	1,0

*zvolíme strednú hodnotu $\eta_K = 50 \% = 0,50$

3.4 Energia zachytená absorpčnou plochou 1 m² za 1 deň - EA

$$E_A = E_1 \eta_K \quad \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1} \quad (14)$$

a) Výpočet energie zachytená absorpčnou plochou 1 m² za 1 deň pre zimné obdobie – mesiace december, január, február :

pre plochý kolektor

$$E_{A\text{ dec}} = 0,61 \cdot 0,20$$

$$E_{A\text{ dec}} = 0,12 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A\text{ jan}} = 0,88 \cdot 0,20$$

$$E_{A\text{ jan}} = 0,18 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A\text{ feb}} = 1,67 \cdot 0,20$$

$$E_{A\text{ feb}} = 0,33 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

pre vákuový kolektor

$$E_{A\text{ dec}} = 0,61 \cdot 0,40$$

$$E_{A\text{ dec}} = 0,24 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A\text{ jan}} = 0,88 \cdot 0,40$$

$$E_{A\text{ jan}} = 0,35 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A\text{ feb}} = 1,67 \cdot 0,40$$

$$E_{A\text{ feb}} = 0,67 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

b) Výpočet energie zachytená absorpčnou plochou 1 m^2 za 1 deň pre jaré obdobie – mesiace marec, apríl, máj :

pre plochý kolektor

$$E_{A \text{ mar}} = 2,88 \cdot 0,50$$

$$E_{A \text{ mar}} = 1,44 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ apr}} = 3,58 \cdot 0,50$$

$$E_{A \text{ apr}} = 1,79 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ máj}} = 4,44 \cdot 0,50$$

$$E_{A \text{ máj}} = 2,22 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

pre vákuový kolektor

$$E_{A \text{ mar}} = 2,88 \cdot 0,60$$

$$E_{A \text{ mar}} = 1,73 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ apr}} = 3,58 \cdot 0,60$$

$$E_{A \text{ apr}} = 2,15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ máj}} = 4,44 \cdot 0,60$$

$$E_{A \text{ máj}} = 2,66 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

c) Výpočet energie zachytená absorpčnou plochou 1 m^2 za 1 deň pre letné obdobie – mesiace jún, júl, august:

pre plochý kolektor

$$E_{A \text{ jún}} = 4,89 \cdot 0,80$$

$$E_{A \text{ jún}} = 3,91 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ júl}} = 5,29 \cdot 0,80$$

$$E_{A \text{ júl}} = 4,23 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ aug}} = 4,83 \cdot 0,80$$

$$E_{A \text{ aug}} = 3,86 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

pre vákuový kolektor

$$E_{A \text{ jún}} = 4,89 \cdot 1,0$$

$$E_{A \text{ jún}} = 4,89 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ júl}} = 5,29 \cdot 1,0$$

$$E_{A \text{ júl}} = 5,29 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ aug}} = 4,83 \cdot 1,0$$

$$E_{A \text{ aug}} = 4,83 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

d) Výpočet energie zachytená absorpčnou plochou 1 m^2 za 1 deň pre jesenné obdobie – mesiace september, október, november:

pre plochý kolektor

$$E_{A \text{ sept}} = 4,04 \cdot 0,50$$

$$E_{A \text{ sept}} = 2,02 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ okt}} = 2,41 \cdot 0,50$$

$$E_{A \text{ okt}} = 1,21 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ nov}} = 0,94 \cdot 0,50$$

$$E_{A \text{ nov}} = 0,47 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

pre vákuový kolektor

$$E_{A \text{ sept}} = 4,04 \cdot 0,60$$

$$E_{A \text{ sept}} = 2,42 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ okt}} = 2,41 \cdot 0,60$$

$$E_{A \text{ okt}} = 1,45 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

$$E_{A \text{ nov}} = 0,94 \cdot 0,60$$

$$E_{A \text{ nov}} = 0,56 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{deň}^{-1}$$

3.5 Určenie hodnoty parametra p

Hodnota parametra p reprezentujúceho straty v privodových potrubíach sa podľa autorov (Brož - Šourek, 2003), pohybuje v intervale od 10 % do 15 %. K voľbe parametra p však musíme pristupovať aj z pohľadu praktického a musíme vychádzať zo skúseností technikov. Vo všeobecnosti existujú dva prístupy k voľbe hodnoty parametra p . V prvom prípade

posudzujeme, aké sú dlhé prívodové potrubia, v ktorých pri prenose teplonosnej látky dochádza k najväčším stratám, ak sa jedná o jednopodlažný objekt, kde je zásobník na TÚV inštalovaný v blízkosti kolektorového poľa, tak tepelné straty sú minimálne a bez ohľadu na ročné obdobie zvolíme hodnotu parametra $p = 10 \%$. Ak sa jedná napríklad o dvojpodlažný objekt s obytným podkrovím tak budú straty maximálne a teda hodnota $p = 15 \%$. Ak sa jedná o dvojpodlažný objekt väčšinou zvolíme strednú priemernú hodnotu parametra $p = 12,5 \%$. Druhý prístup pri voľbe parametra p vychádza z toho, že čím je väčší rozdiel teplôt v interiéri a exteriéri, tým väčšie tepelné straty vznikajú pri transporte teplonosnej látky v solárnom systéme, vtedy volíme hodnotu parametra p podľa tabuľky 8.

Tabuľka 8 Hodnoty parametra p zohľadňujúce ročné obdobie a typ slnečného kolektora

Obdobie	p (%)	p
Zima	15 %	0,15
Jar - jeseň	12,5 %	0,125
Leto	10 %	0,10

3.6 Výpočet plochy kolektorového poľa S_K

$$S_K = \frac{(1+p)Q}{E} \quad (15)$$

Príklad výpočtu:

$$S_{K_{dec}} = \frac{(1+0,15) \cdot 11,16}{E_{Adec}} = \frac{1,15 \cdot 11,16}{0,12} = 106,95 \text{ m}^2$$

Tabuľka 9 Plocha kolektorového poľa v jednotlivých mesiacoch pre solárny kolektorový systém zložený z plochých a vákuových kolektorov

Obdobie	Mesiace	Plochý kolektor m²	Vákuový kolektor m²
Zimné	December	106,95	53,47
	Január	71,27	36,65
	Február	38,87	19,14
Jarné	Marec	8,71	7,25
	Apríl	7,01	5,83
	Máj	5,65	4,72
Letné	Jún	3,13	2,51
	Júl	2,90	2,32
	August	3,18	2,54
Jesenné	September	6,21	5,18
	Október	10,37	8,65
	November	26,70	22,42

Tabuľka 9* - dokončenie

3.7 Výpočet počtu slnečných kolektorov solárneho kolektorového systému

S_1 – plocha jedného slnečného kolektora

$S_1 = 2 \text{ m}^2$ (plochu kolektora volíme podľa rozmerových parametrov uvedených výrobcom)

n – počet slnečných kolektorov

Príklad výpočtu počtu slnečných kolektorov:

$$n_{jan} = \frac{S_{K_{jan}}}{S_1} = \frac{71}{2} = 35,5 = 36 \text{ kolektorov} \quad (16)$$

Tabuľka 10 Výsledky dimenzovania solárneho kolektorového systému – počty kolektorov

Obdobie	Mesiace	Ploché kolektory		Vákuové kolektory	
		Počet za mesiac	Priemerný počet za ročné obdobie	Počet za mesiac	Priemerný počet za ročné obdobie
Zimné	December	54	36,6 t. j. 37	27	18,6 t.j. 19
	Január	36		19	
	Február	20		10	
Jarné	Marec	5	4	4	3,3 t.j. 4
	Apríl	4		3	
	Máj	3		3	
Letné	Jún	2	2	2	2
	Júl	2		2	
	August	2		2	
Jesenné	September	3	7,3 t. j. 8	3	6,6 t.j. 7
	Október	5		5	
	November	14		12	

Priemerný počet kolektorov pre celý rok pre ploché kolektory je

$$n_c = \frac{37 + 4 + 2 + 8}{4} = 12,5 \quad \text{t.j.} \quad 13 \text{ kolektorov} \quad (17)$$

Priemerný počet kolektorov pre celý rok pre vákuové kolektory je

$$n_c = \frac{19 + 4 + 2 + 7}{4} = 8 \text{ kolektorov}$$

3.8 Závěry vyplývající z dimenzování solárního kolektorového systému pro ohřev TUV v rodinném domě

Pro dimenzování solárního kolektorového systému jsme použili plochý a vákuový sluneční kolektor. V rámci výpočtu byla zistěná denná spotřeba tepla na ohřev TUV, přičemž jsme vycházeli z energie dopadající na 1 m², oslavené plochy za den a účinnosti solárního kolektorového systému. Na základě získaných údajů jsme vypočítali plochu kolektorového pole a následně jsme zjistili počet kolektorů pro jednotlivé měsíce kalendářního roku. Z výsledků uvedených v tabulce č. 26 je zřejmé, že největší počet kolektorů je potřebný pro zimní měsíce (prosinec, leden, únor), kde maximální potřebný počet plochých kolektorů je 54 a vákuových kolektorů 27 pro měsíc prosinec. Průměrný počet plochých kolektorů potřebný pro zimní období je 37 a vákuových 19 kusů. Pokud by bylo nainstalováno 37 plochých kolektorů, pokryli by zcela potřebu teplej užitkové vody v měsících prosinec, leden a únor. V prosinci by tedy nebylo možné pokrýt spotřebu teplej užitkové vody, protože by chýbělo v systému 17 kolektorů. Při dimenzování však nikdy nemůžeme vycházet s maximálního počtu kolektorů, ani z průměrného počtu kolektorů pro zimní měsíce, protože velký počet kolektorů potřebných pro zimní měsíce značně zdražuje celý solární systém. Proto byl vypočítán průměrný počet plochých kolektorů pro celoroční použití. Počet plochých kolektorů 13, který byl nadimenzován pro celoroční využití, pokryje zcela spotřebu teplej užitkové vody pro měsíce březen až říjen a na 90 % v měsících prosinec, tzn. že v měsících prosinec až únor budeme pro ohřev TUV potřebovat další technologické zařízení. Solárním systémem budeme v zimních měsících realizovat pouze předohřev teplej užitkové vody a doohřevání teplej užitkové vody na požadovanou teplotu 50 °C, bude realizováno například elektrickým bojlerem, plynovým kotlem, respektive některým z obnovitelných zdrojů energie např. kotlem na biomasu, tepelným čerpadlem a pod. Podobné zhodnocení, jako jsme uvedli pro ploché sluneční kolektory, lze aplikovat i na vákuové sluneční kolektory.