



OPERAČNÍ PROGRAM  
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ



EVROPSKÁ UNIE  
Fond soudržnosti  
Evropský fond pro regionální rozvoj

Pro vodu,  
vzduch a přírodu

# Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav

Duben 2009

T. Matuška  
Ústav techniky prostředí  
Fakulta strojní  
ČVUT v Praze

[tomas.matuska@fs.cvut.cz](mailto:tomas.matuska@fs.cvut.cz)



## 1. Úvod

Jako podklad k energetickému, ekologickému a ekonomickému hodnocení zatím nerealizovaných solárních soustav je zcela nezbytné nejdříve správně vyhodnotit reálné energetické přínosy dané instalace výpočtem. Solární tepelné zisky nejsou závislé pouze na kvalitě navržených komponent (kolektor, zásobník), ale především na návrhu plochy solárních kolektorů vzhledem k potřebě tepla, resp. na požadovaném solárním podílu [1], na tepelných ztrátách soustavy (potrubí, solární zásobník) a na orientaci a sklonu solárních kolektorů. Velmi často se však v energetických analýzách lze setkat s poněkud nereálným bilancováním solárních soustav bez započtení tepelných ztrát vlastní soustavy, případně kalkulujících i s přebytky tepelné energie ze solární soustavy, které nelze například v letním období využít. Následující text nabízí zjednodušený postup výpočtového hodnocení běžných solárních soustav z hlediska využitelných tepelných zisků na základě měsíční energetické bilance (výpočet po měsících). Výpočtový postup je fyzikálně podložený, nicméně je do značné míry zjednodušený, především započtením tepelných ztrát paušální srážkou ze zisků a uvažováním konstantní teploty v zásobníku tepla a proto udává pouze přibližné výsledky. Výpočet nezohledňuje velikost akumulacího zásobníku a neumožňuje tedy zohlednit extrémní předimenzování plochy kolektorů<sup>1</sup>. V žádném případě výpočtový postup nemůže nahradit detailní výpočetní metodiku [2] či přímo simulační výpočty v pokročilých softwarech (TRNSYS, Polysun, aj.) s krokem kratším než hodina, se zohledněním dynamiky provozu solárních soustav a využívající validované simulační modely prvků soustavy (kolektor, zásobník, výměník, atd.). Cílem zjednodušené metodiky je nabídnout odborné veřejnosti snadný výpočtový postup ke stanovení energetických zisků blízkých skutečnosti použitelný pro ruční výpočet či výpočet pomocí běžného tabulkového procesoru (Excel) jako podklad pro hodnocení solárních soustav.

## 2. Metodika

Výpočtový postup pro stanovení energetických zisků solárních soustav je založen na tepelné bilanci potřeby tepla v dané aplikaci, dodaného tepla solárními kolektory, včetně uvažování tepelných ztrát rozvodů a využitelnosti solárního tepla v dané aplikaci. Metodika se zaměřuje na základní typy solárních soustav:

- solární soustavy pro přípravu teplé vody
- kombinované solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění
- solární soustavy pro ohřev bazénové vody

Zjednodušení uvedené metodiky bilancování spočívají především v uvažování celoročně konstantní průměrné měsíční teploty v kolektorech a v paušálním vyjádření podílu tepelných ztrát jak v dané aplikaci (ztráty kryté solárním teplem, součást potřeby tepla) tak tepelných ztrát vlastní solární soustavy. Okrajovými podmínkami výpočtu jsou jednotné údaje o provozních parametrech soustav a jednotné hodnoty klimatických veličin (teplota, vlhkost, ozáření, dávka ozáření) bez ohledu na skutečné místní podmínky instalace. Pouze v odůvodněných případech se připouští použití jiných hodnot provozních parametrů.

## 3. Stanovení potřeby tepla

Prvním krokem při bilancování využitelných tepelných zisků solární soustavy je stanovení vlastní potřeby tepla v dané aplikaci.

### 3.1. Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Pro bilancování reálných tepelných zisků solární soustavy pro přípravu teplé vody je nutné mít k dispozici v první řadě reálné údaje o celkové potřebě tepla na přípravu TV, buď změřené (u stávajících objektů, odečet na kalorimetru) nebo předpokládané (u novostaveb, výpočet). Celková potřeba tepla na

<sup>1</sup> V případě extrémních hodnot instalované plochy, např. 100 m<sup>2</sup> na přípravu teplé vody v rodinném domě, pak výpočtově vychází nereálné solární pokrytí 100 %.



přípravu teplé vody  $Q_{p,TV}$  [kWh/měs] v jednotlivých měsících se výpočtem stanovuje jako potřeba tepla na ohřev vody včetně zahrnutí tepelných ztrát vlastní soustavy přípravy teplé vody (související pouze s přípravou TV)

$$Q_{p,TV} = (1 + z) \frac{nV_{TV,den} \rho c (t_{TV} - t_{SV})}{3.6 \times 10^6} \quad (1)$$

kde

$n$  je počet dní v daném měsíci;  
 $V_{TV,den}$  průměrná denní potřeba teplé vody (při teplotním spádu 60 / 15 °C) v m<sup>3</sup>/den, stanoví se podle reálné spotřeby, případně z měrné potřeby teplé vody vztažené na uživatele (viz tabulka 1); v případě, že je teplá voda připravována za jiných teplotních podmínek, použije se vztah (2)

$$V_{TV,(60/15^\circ C)} = V_{TV,(t_2/t_1)} \frac{t_2 - t_1}{45} \quad (2)$$

$\rho$  hustota vody, v kg/m<sup>3</sup>;  
 $c$  měrná tepelná kapacita vody, v J/kgK;  
 $t_{SV}$  teplota studené vody, uvažována 15 °C;  
 $t_{TV}$  teplota teplé vody, uvažována 60 °C;  
 $z$  přírážka na tepelné ztráty související s přípravou teplé vody (rozvody TV a CV, zásobníkový ohřivač teplé vody), stanoví se podle tabulky 2.

Tab. 1 – Měrná denní potřeba teplé vody [3-8] při teplotním spádu 60/15 °C, uvažováno plné obsazení

	Typ spotřeby	$V_{TV,den,os}$ [l/os.den]
Obytné budovy	Nízký standard	10 - 20
	Střední standard	20 - 40
	Vysoký standard	40 - 80
Nemocnice	Nízké (letní) vytížení	30 - 35
	Zbylá část roku	30 - 60
Domovy důchodců	Nízké (letní) vytížení	30 - 35
	Zbylá část roku	30 - 60
Studentské domovy, koleje	Nízké (letní) vytížení	20 - 25
	Zbylá část roku	25 - 50
Školy	Nízké (letní) vytížení	0
	Zbylá část roku	5 - 10
Hostince, restaurace*	Nízký standard	5
	Střední standard	15
	Vysoký standard	30
Ubytovací zařízení**	Nízký standard	20
	Střední standard	35
	Vysoký standard	70
Sportovní zařízení***	Nízký standard	30
	Střední standard	60
	Vysoký standard	100
Administrativa		0 - 10

\* na jedno místo; \*\* na jedno lůžko; \*\*\* na jednu sprchu



Tab. 2 – Přirážka na tepelné ztráty

Typ přípravy TV	z
Rodinný dům, průtokový ohřev	0.00
Zásobníkový ohřev bez cirkulace	0.15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0.30
Centrální zásobníkový ohřev, neřízená cirkulace	1.00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2.00

Celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody  $Q_{p,c}$  [kWh/měs] při bilancování solární soustavy je potom

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} \quad (3)$$

### 3.2. Potřeba tepla na vytápění

Pro bilancování kombinovaných solárních soustav pro přípravu teplé vody a vytápění je nutné, kromě celkové potřeby tepla na přípravu TV, znát i potřebu tepla na vytápění  $Q_{VYT}$  [kWh/měs] v jednotlivých měsících. Měsíční potřebu tepla na vytápění lze stanovit různými způsoby s použitím různých zdrojů. Často mohou být investoři k dispozici výsledky měsíčního výpočtu v rámci energetického hodnocení stavby a lze je tak použít pro bilancování solární soustavy. Využití kombinovaných soustav pro přípravu teplé vody a vytápění předpokládá alespoň nízkoenergetický standard budov (nízká potřeba tepla pro vytápění, nízkoteplotní otopná soustava).

Kombinované solární soustavy zpravidla využívají centrálního zásobníku otopné vody, do kterého je přiváděn tepelný zisk ze solárních kolektorů a teplo z dodatkového zdroje energie, odebírána otopná voda pro vytápění a ve vestavěném průtočném výměníku nebo zásobníku je připravována teplá voda. Nelze proto jednoznačně odlišit jaká část tepelných ztrát jde na vrub přípravě teplé vody, jaká vytápění a jaká solární soustavě. S ohledem na použití přirážky z pro stanovení potřeby tepla na přípravu TV se ke stanovené potřebě tepla na vytápění  $Q_{VYT}$  připočítají tepelné ztráty spojené s provozem akumulčního zásobníku pro vytápění paušálně přirážkou  $v = 5\%$ , které může solární soustava hradit. Tepelné ztráty rozvodů otopné vody přispívají k vytápění a jsou v podstatě zahrnuty ve výpočtu potřeby tepla (vnitřní zisky).

Pro spolehlivé stanovení potřeby tepla na vytápění budov  $Q_{VYT}$  je doporučen standardizovaný výpočet podle normy ČSN EN ISO 13790 [9], která zahrnuje výpočet solárních zisků okny, vnitřních tepelných zisků, vliv akumulace tepla do vnitřních částí konstrukcí na využití tepelných zisků (včetně stanovení časové konstanty objektu), případně výpočty nestandardních prvků (Trombeho stěna, apod.). Výpočet potřeby tepla se provádí pro jednotlivé měsíce. Metodika je velmi detailní ve výpočtu a výsledky vykazují relativně dobrou shodu s dynamickými simulačními metodami (za předpokladu použití stejných klimatických dat). Nevýhodou je potřeba rozsáhlého množství informací, především o zasklení (nejen tepelné, ale i optické vlastnosti), o stínění oken (výpočet stínění přesahy a markýzami), vlastnostech materiálů všech konstrukcí (hustota, tepelná kapacita). Pro získání reálných hodnot potřeby tepla u domů s nízkou potřebou tepla (nízkoenergetické, pasivní domy) se využijí okrajové podmínky podle [10, 11]. Celková potřeba tepla pro krytí vytápění je potom

$$Q_{p,VYT} = (1 + v) \cdot Q_{VYT} \quad (4)$$

kde

$Q_{VYT}$  je čistá potřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících, v kWh/měs;  
 $v$  přirážka na tepelné ztráty.



Další možností, i když zvláště v oblasti nízkoenergetických a pasivních domů silně zjednodušenou, je použití jednoduché denostupňové metody [12, 13], která stanovuje potřebu tepla na vytápění v jednotlivých měsících na základě výpočtové tepelné ztráty objektu a středních měsíčních venkovních teplot podle vztahu

$$Q_{p,VYT} = (1 + v) \cdot 24 \cdot n \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})} \quad (5)$$

kde

- $\dot{Q}_z$  je jmenovitá (výpočtová) tepelná ztráta objektu, v kW;
- $t_{iv}$  výpočtová vnitřní teplota (uvažuje se 20 °C);
- $t_{ip}$  střední vnitřní teplota v daném měsíci (uvažuje se 20 °C);
- $t_{ev}$  výpočtová venkovní teplota (podle skutečné hodnoty použité při stanovení výpočtové tepelné ztráty, -12 °C, -15 °C, -18 °C);
- $t_{ep}$  střední venkovní teplota v daném měsíci (viz tabulka P2 v příloze), v °C;
- $n$  počet dní v daném měsíci;
- $\varepsilon$  korekční součinitel, který zahrnuje snížení potřeby tepla vlivem účinky regulace, přerušovaného vytápění, mj. také vlivem vnitřních a solárních zisků;
- $v$  přírážka na tepelné ztráty.

Tabulka 3 – Korekční součinitel  $\varepsilon$  pro denostupňovou metodu

Energetická náročnost budovy (vytápění)	$\varepsilon$
<b>běžný standard</b> , vyhláškou požadované tepelné vlastnosti konstrukcí	0.75
<b>nízkoenergetický standard</b> , vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí	0.60
<b>pasivní standard</b> , tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot	0.50

Pokud je k dispozici z blíže neurčeného výpočtu pouze roční potřeba tepla na vytápění  $Q_{VYT}$  [kWh/rok] nebo měrná potřeba tepla na vytápění  $q_{VYT}$  [kWh/m<sup>2</sup>.rok] spolu se vztažnou podlahovou plochou  $A_p$  [m<sup>2</sup>], lze zjednodušeně hodnoty potřeby tepla na vytápění  $Q_{p,VYT}$  [kWh/měs] pro jednotlivé měsíce odhadnout podle středních měsíčních venkovních teplot v otopném období. Otopné období se zjednodušeně uvažuje od září do května<sup>2</sup>. Potřeba tepla na vytápění v  $i$ -tém měsíci včetně zahrnutí tepelných ztrát se tak stanoví jako

$$Q_{p,VYT,i} = (1 + v) Q_{VYT} \frac{(t_{ip} - t_{ep})_i}{\sum_{IX} (t_{ip} - t_{ep})} = (1 + v) q_{VYT} A_p \frac{(t_{ip} - t_{ep})_i}{\sum_{IX} (t_{ip} - t_{ep})} \quad (6)$$

Celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody a vytápění  $Q_{p,c}$  [kWh/měs] při bilancování kombinované solární soustavy je potom

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} + Q_{p,VYT} \quad (7)$$

<sup>2</sup> Z praxe je známá skutečnost, že především v oblasti pasivních domů je otopné období zkráceno o cca 2-3 měsíce a je tedy možné okrajové měsíce (září a květen) do bilance nezahrnovat.



### 3.3. Potřeba tepla na ohřev bazénové vody

Bilancování potřeby tepla u bazénů vychází z tepelné ztráty bazénu během jeho provozu a mimo provoz (dodávka tepla udržuje příslušnou teplotu bazénové vody) a z potřeby přiváděné čisté (studené) vody pro doplňování bazénu. V zásadě je nutné rozlišit mezi bazény vnitřními (krytými) a venkovními (nekrytými), které jsou provozovány za odlišných podmínek ovlivňujících tepelnou ztrátu (viz tabulka 4). Základním předpokladem realizace a následného provozu solárních soustav je zakrývání vodní hladiny bazénu v době mimo provoz (zamezení značných tepelných ztrát odparem z vodní hladiny). Pro výpočet se použije okrajových provozních podmínek definovaných v tabulce 4. Využití jiných provozních podmínek pro výpočet je možné pouze v odůvodněných případech.

Tabulka 4 – Provozní podmínky bazénu pro výpočet

Typ bazénu	$t_w$ [°C]	$p''_{v(tw)}$ [Pa]	$t_v$ [°C]	$\varphi_v$ [%]	$p_{v(tv)}$ [Pa]
Vnitřní [15] – v provozu	28	3780	30	65	2760
Vnitřní – mimo provoz	28	3780	20	65	1520
Vnější – provozu	24	2985	= $t_{es}$	50	výpočet podle (9)
Vnější – mimo provoz	24	2985	= $t_{en}$	50	výpočet podle (9)

Parciální tlak syté vodní páry se pro danou teplotu vzduchu stanoví podle vztahu [16]

$$p''_v = \exp\left(23.58 - \frac{4044.2}{235.6 + t}\right) \quad (8)$$

Parciální tlak vodní páry ve vzduchu se stanoví z relativní vlhkosti a tlaku syté vodní páry při příslušné teplotě vzduchu

$$p_v = \varphi p''_v \quad (9)$$

Měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty vnitřního (krytého) bazénu v kWh/měs

$$Q_{p,z} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[ \beta_p A_b (p''_{v(t_{w,p})} - p_{v(t_{v,p})}) \frac{l_w}{3600} + \alpha_i A_b (t_{w,p} - t_{v,p}) \right] + \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[ \beta_n A_b (p''_{v(t_{w,n})} - p_{v(t_{v,n})}) \frac{l_w}{3600} + \alpha_i A_b (t_{w,n} - t_{v,n}) \right] \quad (10)$$

kde

- $n$  je počet dní v daném měsíci;
- $\tau_p$  denní provozní doba bazénu, pokud není známa  $\tau_p = 12$  h/den.
- $\beta_p$  součinitel přenosu hmoty pro vnitřní bazény v době provozu, uvažuje se jednotně  $\beta_p = 1.6 \times 10^{-4}$  kg/h.m<sup>2</sup>Pa [16];
- $\beta_n$  součinitel přenosu hmoty pro vnitřní bazény mimo dobu provozu, pro zakrývaný bazén se uvažuje  $\beta_n = 0$  kg/h.m<sup>2</sup>Pa; pro nezakrývaný  $\beta_n = \beta_p$ ;
- $A_b$  plocha vodní hladiny bazénu, v m<sup>2</sup>;
- $t_{w,p}$  požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu (viz tabulka 4), ve °C;



$t_{w,n}$	teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu, ve °C; uvažuje se $t_{w,p} = t_{w,n}$ ;
$t_{v,p}$	vnitřní teplota v bazénové místnosti v době provozu bazénu, ve °C;
$t_{v,n}$	vnitřní teplota v bazénové místnosti v době mimo provoz bazénu, ve °C;
$p''_{v(tw)}$	tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody $t_w$ , v Pa;
$p_{v(tv)}$	tlak vodní páry v okolním vzduchu při teplotě $t_v$ a vlhkosti $\varphi_v$ , v Pa;
$l_w$	výparné teplo vody, $l_w = 2.5 \times 10^6$ J/kg;
$\alpha_i$	součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu sáláním a prouděním, uvažuje se $\alpha_i = 10$ W/m <sup>2</sup> K pro vnitřní bazény <sup>3</sup> .

Ve výpočtu se předpokládá udržování konstantní teploty bazénové vody během celého dne a různou teplotou vzduchu v bazénové místnosti během provozu (30 °C, tepelný zisk přestupem sáláním a volným prouděním do bazénu) a mimo provoz (20 °C, tepelná ztráta sáláním a volným prouděním z bazénu).

Měsíční potřeba tepla na krytí tepelné ztráty venkovního (nekrytého) bazénu v kWh/měs

$$Q_{p,z} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[ \beta_p A_b (p''_{v(t_{w,p})} - p_{v(t_{es})}) \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,p} - t_{es}) \right] +$$

$$+ \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[ \beta_n A_b (p''_{v(t_{w,n})} - p_{v(t_{en})}) \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,n} - t_{en}) \right] \quad (11)$$

$$- 0.85 \cdot n \cdot H_{den} \cdot A_b$$

kde

$n$	je počet dní v daném měsíci;
$\tau_p$	denní provozní doba bazénu <sup>4</sup> , stanoví se podle tabulky P2 jako $\tau_p = \tau_s$ , v h/den;
$\beta_p$	součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény, uvažován $2.9 \times 10^{-4}$ kg/h.m <sup>2</sup> Pa [16];
$\beta_n$	součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény mimo dobu provozu, pro zakryvaný bazén se uvažuje $\beta_n = 0$ kg/h.m <sup>2</sup> Pa; pro nezakryvaný $\beta_n = \beta_p$ ;
$A_b$	plocha vodní hladiny bazénu, v m <sup>2</sup> ;
$t_{w,p}$	požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu (viz tabulka 4), ve °C;
$t_{w,n}$	teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu, ve °C; uvažuje se $t_{w,p} = t_{w,n}$ ;
$t_{es}$	střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu (den), ve °C; pro jednotlivé měsíce stanoví z tabulky P2 v příloze;
$t_{en}$	střední teplota venkovního vzduchu v době mimo sluneční svit (noc), ve °C; pro jednotlivé měsíce stanoví z tabulky P2 v příloze;
$p''_{v(tw)}$	tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody $t_w$ , v Pa;
$p_{v(te)}$	tlak vodní páry v okolním vzduchu při venkovní teplotě a vlhkosti v příslušné části dne (viz tabulka 4), v Pa;
$l_w$	výparné teplo vody, $l_w = 2.5 \times 10^6$ J/kg;
$\alpha_e$	součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu sáláním a prouděním, uvažuje se $\alpha_e = 15$ W/m <sup>2</sup> K pro venkovní bazény <sup>2</sup> ;
$H_{den}$	energie slunečního záření dopadající na volnou hladinu bazénu, v kWh/m <sup>2</sup> .den.

<sup>3</sup> V případě použití tepelně izolačního zakrytí použitého pro snížení tepelné ztráty bazénu se použije odpovídající hodnota součinitele prostupu tepla zakrytí [W/m<sup>2</sup>K].

<sup>4</sup> Provoz bazénu je zde zjednodušeně uvažován pouze v době slunečního svitu.



Ve výpočtu se předpokládá udržování konstantní teploty bazénové vody během celého dne a různou teplotou okolního venkovního vzduchu během provozu v době slunečního svitu a mimo provoz v noci. Navíc v době provozu tepelným ziskem přispívá sluneční energie dopadající na vodní hladinu, pohlcená s účinností 85 %.

Měsíční potřeba tepla na ohřev přiváděné studené vody v kWh/měs

$$Q_{p,SV} = k \frac{V_{SV,os} \rho c (t_w - t_{SV})}{3.6 \times 10^6} \quad (12)$$

kde

$k$  je počet návštěvníků v daném měsíci;  
 $V_{SV,os}$  měrná potřeba přiváděné čisté vody na návštěvníka bazénu, v m<sup>3</sup>/os; množství ředící vody se uvažuje jednotně 30 l/os [15];  
 $\rho$  hustota vody, v kg/m<sup>3</sup>;  
 $c$  měrná tepelná kapacita vody, v J/kgK;  
 $t_{SV}$  teplota studené vody, uvažuje se  $t_{SV} = 15$  °C;  
 $t_w$  teplota bazénové vody, ve °C.

Pokud není známý přibližný měsíční počet návštěvníků bazénu  $k$ , stanoví se jako 20% využití měsíční kapacity bazénu<sup>5</sup>. Hodinová kapacita bazénu  $k_b$  je dána [15]

$$k_b = 1.5 \cdot \frac{A_b}{5} \quad \text{pro kryté bazény} \quad k_b = 3 \cdot \frac{A_b}{5} \quad \text{pro nekryté bazény} \quad (13)$$

Měsíční počet návštěvníků se potom stanoví ze vztahu

$$k = 0.2 \cdot k_b \cdot \tau_p \cdot n \quad (14)$$

Celková měsíční potřeba tepla na ohřev bazénové vody  $Q_{p,c}$  [kWh/měs] při bilancování bazénové solární soustavy je potom

$$Q_{p,c} = Q_{p,z} + Q_{p,SV} \quad (15)$$

#### 4. Stanovení využitelných tepelných zisků solární soustavy

Teoretický měsíční využitelný tepelný zisk ze solárních kolektorů  $Q_{k,u}$  [kWh/měs] je dán vztahem

$$Q_{k,u} = 0.9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - \rho) \quad (16)$$

kde

$\eta_k$  je průměrná denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru;  
 $H_{T,den}$  skutečná denní dávka slunečního ozáření (pro různé sklony a orientace plochy kolektorů, viz tabulka P1 v příloze), v kWh/m<sup>2</sup>den;  
 $A_k$  plocha apertury solárního kolektoru, v m<sup>2</sup>;  
 $\rho$  hodnota srážky tepelných zisků z kolektoru vlivem tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, solární zásobník); pro typické případy jsou hodnoty uvedeny v tabulce 5.

<sup>5</sup> Vychází se z dostupných údajů o návštěvnosti bazénů vzhledem k jejich hodinové kapacitě.



Tabulka 5 – Srážka z tepelných zisků ze solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát

Typ solární soustavy	$\rho$
Bazén, ohřev bazénové vody	0.01
Příprava teplé vody, do 10 m <sup>2</sup>	0.20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m <sup>2</sup>	0.10
Příprava teplé vody, od 50 do 200 m <sup>2</sup>	0.05
Příprava teplé vody, nad 200 m <sup>2</sup>	0.03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m <sup>2</sup>	0.30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m <sup>2</sup>	0.20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 do 200 m <sup>2</sup>	0.10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m <sup>2</sup>	0.06

Průměrná denní účinnost solárního kolektoru se stanoví z rovnice

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \left( \frac{t_{k,m} - t_{es}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \frac{(t_{k,m} - t_{es})^2}{G_{T,m}} \quad (17)$$

kde

$G_{T,m}$  je střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů (pro různé sklony a orientace plochy kolektorů, viz tabulka P3 v příloze), ve W/m<sup>2</sup>;

$t_{k,m}$  průměrná teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne, v °C; hodnota se stanoví podle typu aplikace z tabulky 6;

$t_{es}$  průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu, v °C (hodnoty viz tabulka P2 v příloze).

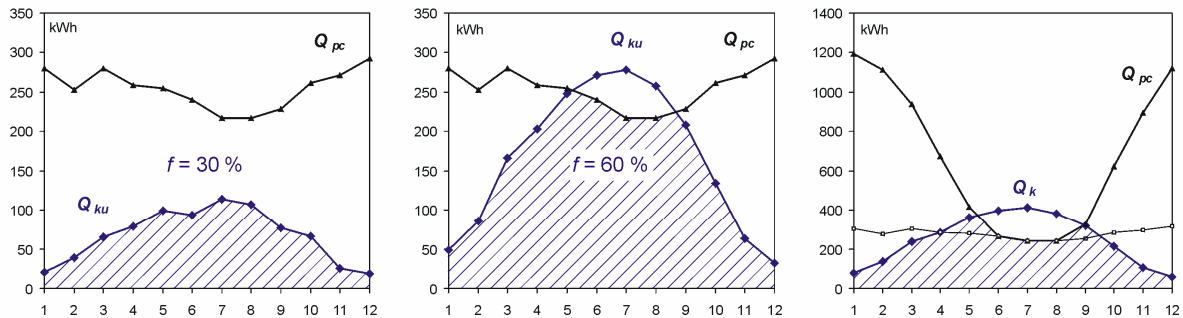
Parametry solárního kolektoru, tzn. hodnotu „optické“ účinnosti  $\eta_0$  [-], lineárního součinitele tepelné ztráty  $a_1$  [W/m<sup>2</sup>K] a kvadratického součinitele tepelné ztráty kolektoru  $a_2$  [W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>], vztažené k ploše apertury solárního kolektoru, by měl poskytnout výrobce nebo dodavatel kolektoru, případně zkušebna nebo certifikační orgán (součást protokolu, osvědčení o certifikaci) na základě výkonových zkoušek [18].

Tabulka 6 – Průměrná teplota v solárních kolektorech

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Ohřev bazénové vody	30
Přehřev teplé vody, dimenzování do pokrytí cca 35 %	35
Příprava teplé vody, pokrytí do 70 %	40
Příprava teplé vody a vytápění	50

Využitelné zisky solární soustavy  $Q_{ss,u}$  [kWh/měs], pokrývající potřebu tepla v dané aplikaci, se vyjádří jako průnik křivky potřeby tepla a teoreticky využitelných zisků solárních kolektorů (viz obr. 1). Matematicky vyjádřeno jde o stanovení minimální hodnoty z teoretických tepelných zisků solárních kolektorů a celkové potřeby tepla v jednotlivých měsících

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c}) \quad (18)$$



Obr. 1 – Grafické znázornění stanovení využitelných solárních zisků (šrafovaná plocha)

Celkové roční využitelné tepelné zisky solární soustavy v kWh/rok se stanoví jako součet takto získaných měsíčních hodnot. Ze stanovených ročních využitelných zisků je možné určit měrné využitelné tepelné zisky jako

$$q_{ss,u} = \frac{\sum_{I}^{XII} Q_{ss,u}}{A_k} \quad (19)$$

Roční měrné využitelné zisky solární soustavy  $q_{ss,u}$  [kWh/m<sup>2</sup>.rok] se používají jako energetické, ekologické či ekonomické kritérium pro posouzení úspory energie, emisí či provozních nákladů z 1 m<sup>2</sup> instalovaných solárních kolektorů.

Z měsíčních a ročních hodnot využitelných tepelných zisků solární soustavy  $Q_{ss,u}$  je možné dále určit solární pokrytí (solární podíl)  $f$  [%], tj. procentní pokrytí potřeby tepla v dané aplikaci využitelnými tepelnými zisky v daném období podle vztahu

$$f = 100 \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} \quad (20)$$

## 5. Závěr

Popsaná metodika je zjednodušeným bilančním výpočtem pro tři základní typy solárních soustav. Metodika má sloužit pro účely jednotného výpočtu energetických přínosů solárních soustav podporovaných v rámci dotačních titulů ze SFŽP ČR.

## Odkazy

- [1] Matuška, T., Šourek, B.: Vliv dimenzování solárních soustav na provozní chování, Sborník semináře Provozování a měření solárních soustav, STP Praha, listopad 2008.
- [2] Matuška, T.: Bilancování energetických úspor solárních soustav, Sborník semináře Ekonomika solárních soustav v souvislostech, STP Praha, březen 2009.
- [3] Planning and Installing Solar Thermal Systems – a guide for installers, architects and engineers. James&James/Earthscan 2005. ISBN 1-84407-125-1
- [4] Remmers, K. H.: Velká solární zařízení, Era, 2007
- [5] Peuser, F. A., Remmers, K. H., Schnauss, M.: Solar Thermal Systems, Solarpraxis, 2002.
- [6] Richtlinie VDI 2067, Blatt 4 - Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Warmwasserversorgung, 1982.



- [7] ČSN EN 15 316-3-1 až 3-3 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 3-1 až 3-3 Soustavy teplé vody, ČNI, 2008.
- [8] DIN V 18599-8 - Energy efficiency of buildings - Calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting - Part 8: Net and final energy demand of domestic hot water systems. 2007
- [9] ČSN EN ISO 13790 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění, ČNI 2008.
- [10] TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy, ČNI 2009.
- [11] TNI 73 0330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy, v přípravě.
- [12] ČSN 38 3350 Zásobování teplem – Všeobecné zásady, ČNI 1988.
- [13] Brož, K.: Vytápění Skriptum ČVUT v Praze, 1995.
- [14] Brož, K., Šourek, B.: Alternativní zdroje energie. Skriptum ČVUT v Praze, 2003.
- [15] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví 464/2000 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity venkovních hracích ploch.
- [16] Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce – Větrání a klimatizace. Bolit B-press Brno, 1993.
- [17] Richtlinie VDI 2089 - Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder (Building services in swimming baths - Indoor pools), 2008.
- [18] ČSN EN 12975-2 Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory - Část 2: Zkušební metody, ČNI, 2006.



## Přílohy

Tabulka P1 – Skutečná denní dávka celkového slunečního ozáření  $H_{T,den}$  [kWh/m<sup>2</sup>] dopadající za den na různě orientovanou a skloněnou plochu v jednotlivých měsících pro charakteristickou oblast město [14]

Úhel sklonu plochy $\beta$	Teoreticky možná sluneční energie celkového záření $H_{T,den}$ [kWh/m <sup>2</sup> ] dopadající za den pro charakteristickou oblast město											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)												
0	0.70	1.26	2.38	3.49	4.68	5.27	5.11	4.31	3.12	1.64	0.81	0.54
15	0.86	1.57	2.79	3.82	4.97	5.54	5.38	4.66	3.58	1.98	0.98	0.64
30	1.00	1.81	3.07	3.99	5.02	5.55	5.41	4.80	3.86	2.25	1.12	0.72
45	1.10	1.97	3.20	3.96	4.84	5.29	5.19	4.71	3.95	2.40	1.21	0.77
60	1.15	2.04	3.18	3.76	4.44	4.79	4.71	4.39	3.84	2.45	1.26	0.80
75	1.15	2.01	3.01	3.39	3.85	4.08	4.04	3.86	3.55	2.37	1.24	0.79
90	1.09	1.88	2.69	2.87	3.09	3.21	3.20	3.17	3.09	2.18	1.18	0.75
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
15	0.86	1.55	2.77	3.80	4.96	5.53	5.37	4.65	3.56	1.97	0.98	0.64
30	0.99	1.79	3.04	3.96	5.00	5.52	5.39	4.77	3.82	2.22	1.11	0.72
45	1.09	1.94	3.16	3.92	4.81	5.25	5.15	4.66	3.90	2.37	1.20	0.76
60	1.13	2.00	3.13	3.72	4.40	4.74	4.67	4.33	3.78	2.40	1.24	0.79
75	1.13	1.97	2.95	3.34	3.80	4.03	3.98	3.80	3.48	2.32	1.22	0.78
90	1.07	1.84	2.64	2.82	3.04	3.16	3.15	3.11	3.03	2.13	1.16	0.74
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
15	0.84	1.52	2.72	3.76	4.91	5.49	5.33	4.60	3.51	1.94	0.96	0.63
30	0.96	1.72	2.95	3.88	4.92	5.44	5.31	4.68	3.72	2.15	1.08	0.69
45	1.04	1.85	3.03	3.81	4.70	5.15	5.04	4.54	3.76	2.26	1.15	0.73
60	1.07	1.89	2.98	3.58	4.27	4.61	4.53	4.19	3.61	2.27	1.17	0.75
75	1.06	1.84	2.78	3.18	3.65	3.89	3.84	3.64	3.29	2.18	1.15	0.74
90	1.00	1.71	2.46	2.66	2.89	3.01	2.99	2.94	2.82	1.98	1.08	0.70
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 45^\circ$												
15	0.81	1.47	2.65	3.70	4.85	5.43	5.27	4.53	3.42	1.88	0.93	0.61
30	0.90	1.62	2.81	3.75	4.80	5.32	5.19	4.54	3.56	2.03	1.02	0.66
45	0.96	1.71	2.83	3.64	4.53	4.98	4.87	4.34	3.53	2.10	1.07	0.69
60	0.97	1.71	2.73	3.36	4.06	4.41	4.32	3.94	3.33	2.08	1.07	0.69
75	0.95	1.64	2.51	2.94	3.42	3.66	3.60	3.37	2.98	1.96	1.04	0.68
90	0.89	1.51	2.18	2.41	2.65	2.77	2.75	2.66	2.50	1.75	0.97	0.63

Tabulka P2 - Střední měsíční venkovní teplota  $t_{ep}$  [°C], střední teplota v době slunečního svitu  $t_{es}$  [°C], střední teplota v noci  $t_{en}$  [°C] (mimo dobu slunečního svitu) a teoretická doba slunečního svitu  $\tau_s$  [h/měs]

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$t_{ep}$ [°C]	-1.5	0.0	3.2	8.8	13.6	17.3	19.2	18.6	14.9	9.4	3.2	-0.2
$t_{es}$ [°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
$t_{en}$ [°C]	-3.5	-2.3	0.1	4.5	8.4	10.5	12.9	12.7	10.0	5.9	0.8	-2.0
$\tau_s$ [h/den]	8	10	12	14	15	16	16	14	12	11	9	8



Tabulka P3 - Střední hodnota slunečního ozáření  $G_{T,m}$  [ $W/m^2$ ] na různě orientovanou a skloněnou plochu pro charakteristickou oblast město [14]

Úhel sklonu plochy $\beta$	Střední hodnota slunečního ozáření $G_{T,m}$ [ $W/m^2$ ] pro charakteristickou oblast město											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 0^\circ$ (orientace na jih)												
0	175	253	365	446	498	514	501	462	388	285	195	150
15	273	353	448	501	535	545	534	508	457	375	290	245
30	356	434	506	529	543	546	538	526	501	444	369	325
45	418	489	535	527	521	517	512	515	516	488	427	387
60	454	514	533	496	470	460	459	476	503	502	458	424
75	463	509	500	437	394	379	381	411	461	488	462	436
90	443	473	438	355	299	279	285	325	393	444	438	421
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 15^\circ$												
15	270	350	445	499	534	543	533	506	454	372	287	241
30	349	427	500	525	540	543	535	522	496	438	363	319
45	408	479	526	521	516	512	508	509	509	479	417	377
60	442	502	522	488	464	455	453	469	494	491	447	413
75	449	495	488	428	388	373	375	403	451	475	449	423
90	429	459	426	346	292	273	279	317	383	431	425	408
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 30^\circ$												
15	259	339	435	492	529	539	528	500	446	362	277	232
30	329	406	482	512	530	534	526	511	480	419	343	300
45	380	449	501	502	502	500	495	494	487	452	390	351
60	408	466	491	465	447	440	438	449	467	459	413	380
75	411	455	453	403	369	356	358	382	421	439	412	387
90	390	418	390	320	273	256	261	294	352	394	386	370
Azimutový úhel osluněné plochy $\gamma = \pm 45^\circ$												
15	243	322	421	482	521	532	521	491	434	347	261	216
30	298	373	453	491	514	520	512	493	456	389	313	270
45	336	403	460	473	480	481	475	468	453	410	346	308
60	353	409	442	430	420	416	413	419	425	407	360	328
75	350	392	398	363	339	330	331	347	374	381	353	329
90	327	352	333	279	242	229	233	259	303	334	325	310