

Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup**TNI 73 0302****Informace pro uživatele**

Rostoucí zájem o využívání sluneční energie pro krytí potřeby tepla vyžaduje ucelený výpočtový postup pro energetické hodnocení solárních tepelných soustav v základních aplikacích (příprava teplé vody, vytápění, ohřev bazénové vody). Uvedený postup využívá jednotných okrajových podmínek pro výpočet energetických přínosů solárních tepelných soustav zjednodušeným výpočtem měsíční bilance.

Citované podklady

ČSN EN 12975-2 (73 0301) Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody

ČSN EN ISO 13790 (73 0317) Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení

TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy

TNI 73 0330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy

ČSN EN 15316-3-1 (06 0401) Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody)

ČSN EN 15316-3-2 (06 0401) Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 3-2: Soustavy teplé vody, rozvody

ČSN EN 15316-3-3 (06 0401) Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 3-3: Soustavy teplé vody, příprava

Vypracování technické normalizační informace

Zpracovatel: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, IČ 68407700, Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.

Pracovník Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Ing. Miloslava Syrová

Údaje o projednání

TNI 73 0302 byla projednána 23. 4. 2009.

1 Předmět technické normalizační informace

Jako podklad k energetickému, ekologickému a ekonomickému hodnocení nerealizovaných¹ solárních tepelných soustav je nezbytné správně vyhodnotit 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, na tepelných ztrátách soustavy (potrubí, solární zásobník) a na orientaci a sklonu solárních kolektorů.

Technická normalizační informace uvádí zjednodušený výpočtový postup energetické bilance základních typů solárních tepelných soustav za stanovených okrajových podmínek.

Tato technická normalizační informace nestanovuje postup pro detailní výpočet energetických přínosů solární tepelné soustavy „co nejbližší skutečnosti“, kdy je zapotřebí používat klimatické údaje včetně parametrů stínění z místa instalace, podrobné parametry a vlastnosti solární soustavy, detailní parametry prvků a jejich hydraulické zapojení, informace o způsobu provozu solární soustavy, a kdy může být potřebné použití jiného podrobnějšího výpočtu, například dynamické simulace soustavy s validovanými modely zásobníků tepla, výměníků tepla, atd.

Zjednodušený výpočtový postup je určen ke stanovení přibližných energetických zisků a je použitelný pro ruční výpočet či výpočet pomocí běžného tabulkového procesoru.

Výsledkem výpočtu jsou základní parametry solární tepelné soustavy (celkové tepelné zisky, měrné tepelné zisky, solární podíl), na základě kterých je možné stanovit celkovou úsporu primární energie a svázaných emisí škodlivých látek nebo ekonomické parametry.

2 Výpočtový postup

Výpočtový postup pro stanovení energetických zisků solárních tepelných soustav je založen na bilanci potřeby tepla v dané aplikaci včetně tepelných ztrát, tepla dodaného solárními kolektory, tepelných ztrát solární soustavy a využitelnosti solárního tepla v dané aplikaci. Výpočtový postup je určen pro 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.

Výpočet založený na energetické bilanci využitelných měsíčních tepelných zisků solárních tepelných soustav je fyzikálně zřetelný², nicméně je do značné míry zjednodušený:

- započtením tepelných ztrát dané aplikace paušální přírážkou k potřebě tepla;
- uvažováním konstantní střední teploty v kolektorech v celém roce;
- započtením tepelných ztrát solární soustavy paušální srážkou ze zisků.

a proto udává pouze přibližné výsledky. Okrajovými podmínkami výpočtu jsou jednotné údaje o provozních parametrech soustav a jednotné klimatické údaje (teplota, vlhkost, sluneční ozáření, dávka slunečního ozáření) bez ohledu na skutečné místní podmínky instalace. Pouze v odůvodněných případech se připouští použití jiných hodnot provozních parametrů, které musí být výslovně uvedeny. Výpočet nezohledňuje velikost akumulčního zásobníku a neumožňuje tedy vyhodnotit soustavy s extrémně malou nebo velkou plochou kolektorů³. V žádném případě výpočtový postup nemůže nahradit detailní výpočetní metodiky či výpočty v pokročilých simulačních programech s krokem kratším než hodina, zohledňující dynamické chování solárních soustav a využívající validované simulační modely prvků soustavy (kolektor, zásobník, výměník, atd.).

3 Stanovení potřeby tepla

Základním krokem při bilancování využitelných tepelných zisků solární tepelné soustavy je stanovení vlastní potřeby tepla v dané aplikaci. Pokud je známa spotřeba tepla v dané aplikaci z dlouhodobých věrohodných měření (celoroční údaje, včetně tepelných ztrát), použije se místo výpočtu uvedeného v 3.1 až 3.3.

¹ Hodnocení realizovaných solárních soustav se provádí měřením dodaných tepelných zisků.

² Výpočtový postup se zásadně liší od korelačního výpočtu uvedeného v ČSN EN 15316-4-3.

³ V případě extrémních hodnot instalované plochy, např. 100 m² na přípravu teplé vody v rodinném domě, pak výpočtově vychází zcela nereálný solární podíl 100 %.

3.1 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Pro bilancování reálných tepelných zisků solární soustavy pro přípravu teplé vody je nutné použít reálné údaje o celkové měsíční potřebě tepla na přípravu TV, buď změřené (u stávajících objektů) nebo předpokládané (u novostaveb, výpočet). Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV}$ [kWh/měs] v jednotlivých měsících se výpočtem stanoví jako potřeba tepla na ohřev vody se zahrnutím tepelných ztrát vlastní soustavy přípravy teplé vody (související pouze s přípravou TV)

$$Q_{p,TV} = (1+z) \frac{n V_{TV,den} \rho c (t_{TV} - t_{sv})}{3,6 \times 10^6} \quad (1)$$

kde

n je počet dní v daném měsíci;

$V_{TV,den}$ průměrná denní potřeba teplé vody (při teplotním spádu 60/15 °C) v m³/den, stanoví se podle reálné spotřeby, případně z měrné potřeby teplé vody vztahované na měrnou jednotku (viz tabulka 1);

ρ hustota vody, v kg/m³;

c měrná tepelná kapacita vody, v J/(kg·K);

t_{sv} teplota studené vody, uvažována celoročně 15 °C;

t_{TV} teplota teplé vody, uvažována celoročně 60 °C;

z přírážka pro zahrnutí tepelných ztrát souvisejících s přípravou teplé vody (rozvody TV a CV, zásobníkový ohříváč teplé vody), stanoví se podle tabulky 2.

V případě, že je teplá voda připravována za jiných teplotních podmínek (t_2 / t_1), použije se vztah (2)

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

Tabulka 1 – Měrná denní potřeba teplé vody při teplotním spádu 60/15 °C [1-4]

Typ budovy	Typ spotřeby	m.j.	$V_{TV,mj,den}$ [l/mj.den]
Obytné budovy	Nizký standard	os	10–20
	Střední standard	os	20–40
	Vysoký standard	os	40–80
	Nizké (letní) vytížení		$0,75 \times V_{TV}$
Nemocnice, domovy důchodců	Nizké (letní) vytížení	os	25–35
	Zbylá část roku	os	30–60
Studentské domovy, koleje	Nizké (letní) vytížení	os	20–25
	Zbylá část roku	os	25–50
Školy	Nizké (letní) vytížení	os	0
	Zbylá část roku	os	5–10
Hostince, restaurace	Nizký standard	místo	5
	Střední standard	místo	15
	Vysoký standard	místo	30
Ubytovací zařízení	Nizký standard	lůžko	20
	Střední standard	lůžko	35
	Vysoký standard	lůžko	70
Sportovní zařízení	Nizký standard	sprcha	30
	Střední standard	sprcha	60
	Vysoký standard	sprcha	100

Pro stanovení reálných hodnot potřeby teplé vody během roku podle tabulky 1 je nezbytné uvažovat skutečnou obsazenost budov. U budov s odlišnými charakterystikami potřeby teplé vody v letním období vůči zbylé části roku se uvažují příslušné hodnoty z tabulky 1.

Tabulka 2 – Přírážka na tepelné ztráty přípravy teplé vody

Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00

POZNÁMKA Stanovení vlastní potřeby teplé vody se podrobněji věnuje ČSN EN 15316-3-1. Výpočet tepelných ztrát rozvodných potrubí teplé vody a cirkulace je uveden v ČSN EN 15316-3-2. Výpočet tepelných ztrát vlastního ohřivače vody je uveden v ČSN EN 15316-3-3.

Celková měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,c}$ [kWh/měs] pro bilancování solární tepelné soustavy pro přípravu teplé vody 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 se kromě celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody stanoví potřeba tepla na vytápění $Q_{v,VT}$ [kWh/měs] v jednotlivých měsících. Měsíční potřeba tepla na vytápění se stanoví v souladu s ČSN EN ISO 13790. Pro získání reálných hodnot potřeby tepla na vytápění nízkoenergetických a pasivních domů se využijí okrajové podmínky v souladu s TNI 73 0329 a TNI 73 0330. V příloze B jsou uvedeny některé zjednodušené metody orientačního stanovení potřeby tepla na vytápění v jednotlivých měsících, které jsou přípustné v odůvodněných případech.

POZNÁMKA Základním předpokladem realizace solárních kombinovaných soustav je nízká potřeba tepla na vytápění (nízkoenergetické domy, pasivní domy, nízkooteplotní otopné soustavy).

Kombinované solární soustavy zpravidla využívají centrálního zásobníku otopné vody, do kterého je přiváděn tepelný zisk ze solárních kolektorů a teplo z dodatkového zdroje energie, a z něj 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 přírážky z pro stanovení potřeby tepla na přípravu TV se ke stanovené potřebě tepla na vytápění $Q_{v,VT}$ připočítají tepelné ztráty spojené s provozem akumulčního zásobníku pro vytápění, které může solární soustava hradit, paušálně přírážkou $v = 5\%$. Zpětně využitelné tepelné ztráty rozvodů otopné vody přispívají k vytápění a jsou v podstatě zahrnuty ve výpočtu potřeby tepla jako vnitřní tepelné zisky.

POZNÁMKA Podrobně se výpočtu tepelných ztrát otopných soustav a zásobníků tepla věnuje ČSN EN 15316-2.

Celková potřeba tepla pro krytí vytápění je potom

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

kde

$Q_{v,VT}$ je čistá potřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících, v kWh/měs;

v přírážka pro zahrnutí tepelných ztrát otopné soustavy a zásobníku tepla, které je možné pokrýt solárními zisky.

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

$$Q_{p,c} = Q_{p,TV} + Q_{p,v,VT} \quad (5)$$

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 požadovanou teplotu bazénové vody) a z potřeby přiváděné čisté (studené) vody pro doplňování bazénu. Výpočtový postup rozlišuje mezi bazény vnitřními (krytými) a venkovními (nekrytými), které jsou provozovány za odlišných podmínek ovlivňujících tepelnou ztrátu. Pro výpočet se použije okrajových provozních podmínek definovaných v tabulce 3. Využití jiných provozních podmínek pro výpočet je možné v odůvodněných případech s uvedením použitých hodnot.

POZNÁMKA Základním předpokladem realizace a následného provozu solárních soustav pro ohřev bazénové vody je zakrývání vodní hladiny bazénu v době mimo provoz (zamezení značných tepelných ztrát odparem z vodní hladiny).

Tabulka 3 – Provozní podmínky bazénů

Typ bazénu	t_w [°C]	$p_d''(t_w)$ [Pa]	t_v [°C]	φ [%]	$p_d(t_v)$ [Pa]
Vnitřní – v provozu	28	3781	30	65	2759
Vnitřní – mimo provoz	24	2985	20	65	1521
Vnější – v provozu	24	2985	$= t_{e,s}$	50	výpočet podle (6),(7)
Vnější – mimo provoz	20	2339	$= t_{e,n}$	50	výpočet podle (6),(7)

Parciální tlak syté vodní páry p_d'' v Pa se pro danou teplotu vzduchu t ve °C stanoví podle vztahu

$$p_d'' = \exp\left(23.58 - \frac{4044.2}{235.6 + t}\right) \quad (6)$$

Parciální tlak vodní páry p_d v Pa ve vzduchu se stanoví z relativní vlhkosti vzduchu φ a tlaku syté vodní páry p_d'' v Pa pro příslušnou teplotu vzduchu

$$p_d = \varphi p_d'' \quad (7)$$

Měsíční potřeba tepla v kWh/měs na krytí tepelné ztráty vnitřního (krytého) bazénu vypařováním (přenos hmoty) a přestupem tepla z hladiny bazénu v době provozu a mimo provoz bazénu se stanoví ze vztahu

$$Q_{Bv} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[\beta_p A_b \left(p_{d(t_{w,p})}'' - p_{d(t_{v,p})} \right) \frac{l_w}{3600} + h_l A_b (t_{w,p} - t_{v,p}) \right] + \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[\beta_n A_b \left(p_{d(t_{w,n})}'' - p_{d(t_{v,n})} \right) \frac{l_w}{3600} + h_l A_b (t_{w,n} - t_{v,n}) \right] \quad (8)$$

kde

n je počet dní v daném měsíci;

τ_p denní provozní doba bazénu; pokud není doba provozu známa, uvažuje se $\tau_p = 12$ h/den;

β_p součinitel přenosu hmoty vypařováním pro vnitřní bazény v době provozu, uvažuje se jednotně

$$\beta_p = 1,6 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}) \text{ [5];}$$

β_n součinitel přenosu hmoty vypařováním pro vnitřní bazény v době mimo provoz, pro zakrývaný bazén se uvažuje jednotně $\beta_n = 0 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$; pro nezakrývaný $\beta_n = \beta_p$;

A_b plocha vodní hladiny bazénu, v m^2 ;

$t_{w,p}$ teplota bazénové vody v době provozu bazénu (viz tabulka 3), ve °C;

$t_{w,n}$ teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu (viz tabulka 3), ve °C;

$t_{v,p}$ vnitřní teplota v bazénové místnosti v době provozu bazénu (viz tabulka 3), ve °C;

$t_{v,n}$ vnitřní teplota v bazénové místnosti v době mimo provoz bazénu (viz tabulka 3), ve °C;

- $p_{d(t_w)}$ tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody t_w , v Pa;
- $p_{d(t_v)}$ tlak vodní páry v okolním vzduchu při teplotě t_v a vlhkosti φ_v , v Pa;
- l_w výparné teplo vody, $l_w = 2,5 \times 10^6$ J/kg;
- h_i součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu sáláním a prouděním, uvažuje se $h_i = 10$ W/(m²·K) pro vnitřní bazény⁴.

Ve výpočtu se předpokládá udržování různé teploty bazénové vody t_w v době provozu a mimo provoz a různá teplota vzduchu t_v bazénové místnosti v době provozu a mimo provoz.

POZNÁMKA V době provozu bazénu dochází k tepelné ztrátě vypařováním z vodní hladiny bazénu a k tepelnému zisku přestupem sáláním a volným prouděním z okolního prostředí do bazénu, v době mimo provoz dochází k tepelné ztrátě sáláním a volným prouděním z bazénu do okolního prostředí (zakrývaný bazén).

Měsíční potřeba tepla v kWh/měs na krytí tepelné ztráty venkovního (nekrytého) bazénu vypařováním (přenos hmoty) a přestupem tepla z hladiny bazénu v době provozu a mimo provoz bazénu, částečně kompenzovanou přímými tepelnými zisky ze slunečního záření dopadlého a pohlceného na hladině bazénu, se stanoví ze vztahu

$$Q_{BV} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[\beta_p A_b (p_{d(t_{w,p})} - p_{d(t_{e,s})}) \frac{l_w}{3600} + h_e A_b (t_{w,p} - t_{e,s}) \right] + \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[\beta_n A_b (p_{d(t_{w,n})} - p_{d(t_{e,n})}) \frac{l_w}{3600} + h_e A_b (t_{w,n} - t_{e,n}) \right] - 0,85 \cdot n \cdot H_{den} \cdot A_b \quad (9)$$

kde

- n je počet dní v daném měsíci;
- τ_s denní doba slunečního svitu (viz tabulka A.2), v h/den;
- τ_p denní provozní doba bazénu⁵, stanoví se podle tabulky A.2 jako $\tau_p = \tau_s$, v h/den;
- β_p součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény v době provozu, uvažuje se jednotně $\beta_p = 2,9 \times 10^{-4}$ kg/(h·m²·Pa) [5];
- β_n součinitel přenosu hmoty pro venkovní bazény v době mimo provoz, pro zakrývaný bazén se uvažuje jednotně $\beta_n = 0$ kg/(h·m²·Pa); pro nezakrývaný $\beta_n = \beta_p$;
- A_b plocha vodní hladiny bazénu, v m²;
- $t_{w,p}$ požadovaná teplota bazénové vody v době provozu bazénu (viz tabulka 3), ve °C;
- $t_{w,n}$ teplota bazénové vody v době mimo provoz bazénu (viz tabulka 3), ve °C;
- $t_{e,s}$ střední teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu (den), ve °C; pro jednotlivé měsíce stanoví z tabulky A.2;
- $t_{e,n}$ střední teplota venkovního vzduchu v době mimo sluneční svit (noc), ve °C; pro jednotlivé měsíce stanoví z tabulky A.2;
- $p_{d(t_w)}$ tlak syté vodní páry v blízkosti hladiny bazénu při teplotě vzduchu rovné teplotě bazénové vody t_w , v Pa;
- $p_{d(t_e)}$ tlak vodní páry v okolním vzduchu při venkovní teplotě a vlhkosti v příslušné části dne (viz tabulka 3), v Pa;
- l_w výparné teplo vody, $l_w = 2,5 \times 10^6$ J/kg;
- h_e součinitel přestupu tepla mezi okolním prostředím a hladinou bazénu sáláním a prouděním, uvažuje se $h_e = 15$ W/m²·K pro venkovní bazény⁴;
- H_{den} energie slunečního záření dopadající na volnou hladinu bazénu (viz tabulka A.1, hodnoty pro vodorovnou plochu), v kWh/(m²·den).

Ve výpočtu se předpokládá udržování různé teploty bazénové vody t_w v době provozu a mimo provoz a různá teplota okolního venkovního vzduchu t_e během provozu v době slunečního svitu a mimo provoz v noci. V době provozu přispívá tepelným ziskem sluneční záření pohlcené na vodní hladině s účinností 85 %.

⁴ V případě použití tepelně izolačního zakrytí použitého pro snížení tepelné ztráty bazénu se místo součinitele přestupu tepla h_i po dobu mimo provoz použije odpovídající hodnota součinitele prostupu tepla zakrytí U ve W/(m²·K).

⁵ Provoz bazénu je zde zjednodušeně uvažován pouze v době slunečního svitu.

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

$$Q_{SV} = k \frac{V_{SV,os} \rho c (t_w - t_{SV})}{3,6 \times 10^6} \quad (10)$$

kde

k je počet návštěvníků v daném měsíci;

$V_{SV,os}$ měrná potřeba přiváděné čisté vody na návštěvníka bazénu, v m³/os; množství ředící vody se uvažuje jednotně 30 l/os;

ρ hustota vody, v kg/m³;

c měrná tepelná kapacita vody, v J/kgK;

t_{SV} teplota studené vody, uvažuje se celoročně $t_{SV} = 15$ °C;

t_w teplota bazénové vody, ve °C.

Pokud není známý měsíční počet návštěvníků bazénu k , stanoví se přibližně jako 20% využití měsíční kapacity bazénu. Hodinová kapacita bazénu k_b je dána vztahy

$$k_b = 1,5 \cdot \frac{A_b}{5} \quad \text{pro kryté bazény} \quad k_b = 3,0 \cdot \frac{A_b}{5} \quad \text{pro nekryté bazény} \quad (11)$$

Měsíční počet návštěvníků se potom stanoví ze vztahu

$$k = 0,2 \cdot k_b \cdot \tau_p \cdot n \quad (12)$$

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

$$Q_{p,c} = Q_{BV} + Q_{SV} \quad (13)$$

POZNÁMKA Tepelné ztráty bazénu jsou zahrnuty ve výpočtu potřeby tepla. Tepelné ztráty rozvodů jsou oproti tepelným ztrátám z vodní hladiny bazénu zanedbatelné.

4 Stanovení využitelných tepelných zisků solární soustavy

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

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (14)$$

kde

η_k je střední denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru;

$H_{T,den}$ skutečná denní dávka slunečního ozáření (pro různé sklony a orientace plochy kolektorů se v jednotlivých měsících stanoví z tabulky A.1), v kWh/(m²·den);

A_k plocha apertury solárních kolektorů, v m²;

p hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, solární zásobník); pro typické případy jsou hodnoty uvedeny v tabulce 4.

Střední denní účinnost solárního kolektoru se stanoví z rovnice křivky účinnosti

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \quad (15)$$

kde

$G_{T,m}$ je střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů, ve W/m²; hodnoty pro různé sklony a orientace plochy kolektorů se v jednotlivých měsících stanoví z tabulky A.3;

$t_{k,m}$ střední denní teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne, ve °C; hodnota se uvažuje celoročně konstantní a stanoví se podle typu aplikace z tabulky 5;

$t_{e,s}$ střední venkovní teplota v době slunečního svitu, ve °C; hodnoty v jednotlivých měsících se stanoví z tabulky A.2.

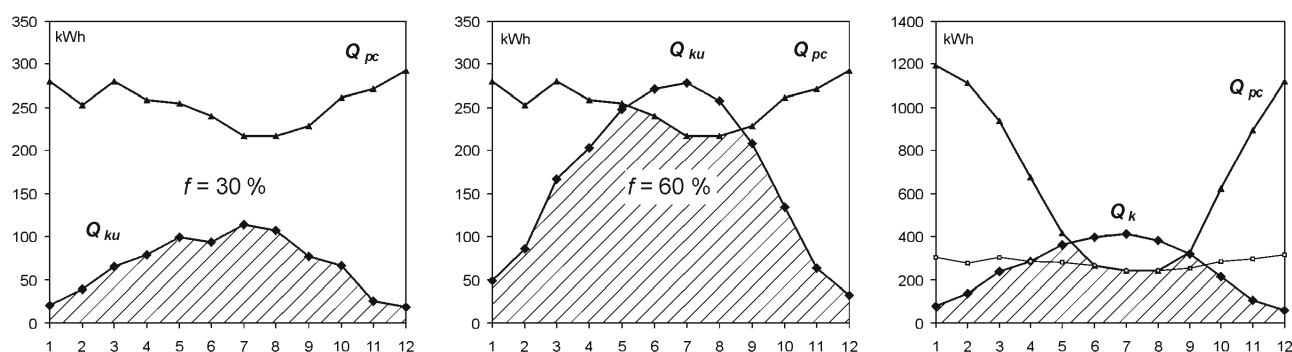
Tabulka 4 – Srážka z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát

Typ solární soustavy	p
Bazén, ohřev bazénové vody	0,01
Příprava teplé vody, do 10 m ²	0,20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m ²	0,10
Příprava teplé vody, od 50 m ² do 200 m ²	0,05
Příprava teplé vody, nad 200 m ²	0,03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m ²	0,30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 m ² do 50 m ²	0,20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 m ² do 200 m ²	0,10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m ²	0,06

Parametry rovnice křivky účinnosti solárního kolektoru vztažené k ploše apertury solárního kolektoru, tzn. hodnotu „optické“ účinnosti η_0 , lineárního součinitele tepelné ztráty a_1 ve $W/(m^2 \cdot K)$ a kvadratického součinitele tepelné ztráty kolektoru a_2 ve $W/(m^2 \cdot K^2)$, by měl poskytnout výrobce nebo dodavatel kolektoru, případně zkušebna nebo certifikační orgán jako součást protokolu o zkoušce tepelného výkonu podle ČSN EN 12975-2.

Tabulka 5 – Střední denní teplota v solárních kolektorech

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Ohřev bazénové vody (venkovní bazén)	30
Ohřev bazénové vody (vnitřní bazén)	35
Přehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25 %	60

**Obrázek 1 – Grafické znázornění stanovení využitelných solárních zisků (šrafovaná plocha)**

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

$$Q_{ss,u} = \min(Q_{k,u}; Q_{p,c}) \quad (16)$$

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

$$q_{ss,u} = \frac{\sum_{I}^{XII} Q_{ss,u}}{A_k} \quad (17)$$

Měrné roční využitelné zisky solární tepelné soustavy $q_{ss,u}$ v kWh/(m²·rok) se používají jako ukazatel pro posouzení úspory energie, emisí či provozních nákladů z 1 m² apertury instalovaných solárních kolektorů.

Solární podíl f [%], tj. procentní pokrytí potřeby tepla v dané aplikaci využitelnými tepelnými zisky v daném období, se stanoví z měsíčních a ročních hodnot využitelných tepelných zisků solární soustavy $Q_{ss,u}$ podle vztahu

$$f = 100 \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} \quad (18)$$

Příloha A

Klimatické údaje

Pro výpočty bilancování se uvažují uvedené jednotné klimatické údaje.

**Tabulka A.1 – Dávka celkového slunečního ozáření $H_{T,den}$ [kWh/(m².den)]
pro různě orientovanou a skloněnou plochu v jednotlivých měsících**

Úhel sklonu plochy β	Dávky celkového slunečního záření $H_{T,den}$ [kWh/(m ² .den)]											
	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 A.2 – Střední měsíční venkovní teplota t_{ep} [°C], střední teplota v době slunečního svitu t_{es} [°C], střední teplota v noci t_{en} [°C] (mimo sluneční svit) a teoretická doba slunečního svitu τ_s [h/den]

	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
τ_s [h/den]	8	10	12	14	15	16	16	14	12	11	9	8

Tabulka A.3 – Střední hodnota slunečního ozáření $G_{T,m}$ [W/m²] na různě orientovanou a skloněnou plochu

Úhel sklonu plochy β	Střední hodnota slunečního ozáření $G_{T,m}$ [W/m ²]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Azimutový úhel oslněné 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 oslněné 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 oslněné 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 oslněné 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

Příloha B

Orientační výpočet potřeby tepla na vytápění

Pro spolehlivé stanovení potřeby tepla na vytápění budov Q_{VYT} se přednostně používá výpočet v souladu s ČSN EN ISO 13790, 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 příspěvků od 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). Výpočet je časově náročný a pracnost je neúměrná vlivu přesnosti stanovení potřeby na výsledky zjednodušeného výpočtového postupu pro energetickou bilanci solární soustavy.

Pokud výpočet v souladu s ČSN EN ISO 13790 není k dispozici v rámci energetického hodnocení budovy, lze potřebu tepla na vytápění v jednotlivých měsících orientačně stanovit dennostupňovou metodou na základě výpočtové tepelné ztráty budovy a středních měsíčních venkovních teplot podle vztahu [8]

$$Q_{VYT} = 24 \cdot n \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})} \quad (B.1)$$

kde

\dot{Q}_z je výpočtová tepelná ztráta objektu, v kW;

t_{iv} výpočtová vnitřní teplota v daném měsíci, ve °C;

t_{ip} střední vnitřní teplota v daném měsíci, ve 20 °C;

t_{ev} výpočtová venkovní teplota, ve °C;

t_{ep} střední venkovní teplota v daném měsíci (stanoví se tabulky A.2), ve °C;

n počet dní v daném měsíci;

ε korekční součinitel podle tabulky B.1, který zahrnuje snížení potřeby tepla vlivem účinky regulace, přerušovaného vytápění, mj. také vlivem vnitřních a solárních zisků.

Tabulka B.1 – Korekční součinitel ε pro dennostupňovou metodu

Energetická náročnost budovy (vytápění)	ε
<i>běžný standard</i> , tepelné vlastnosti konstrukcí vyhláškou požadované	0,75
<i>nízkoenergetický standard</i> , vyhláškou doporučené tepelné vlastnosti konstrukcí	0,60
<i>pasivní standard</i> , tepelné vlastnosti konstrukcí nad rámec vyhláškou doporučených hodnot	0,50

Pokud je k dispozici z energetického hodnocení budovy pouze celková roční potřeba tepla na vytápění Q_{VYT} v kWh/rok nebo měrná roční potřeba tepla na vytápění q_{VYT} v kWh/(m²·rok) spolu se vztažnou podlahovou plochou A_p v m², lze zjednodušeně hodnoty potřeby tepla na vytápění $Q_{p,VYT}$ v kWh/měs pro jednotlivé měsíce odhadnout podle středních měsíčních venkovních teplot v otopném období. Otopné období se zjednodušeně uvažuje od září do května. Potřeba tepla na vytápění v i -tém měsíci se stanoví jako

$$Q_{VYT,i} = Q_{VYT} \frac{(t_{ip} - t_{ep})_i}{\sum_{IX} (t_{ip} - t_{ep})} = q_{VYT} A_p \frac{(t_{ip} - t_{ep})_i}{\sum_{IX} (t_{ip} - t_{ep})} \quad (B.2)$$

Bibliografie

- [1] Planning and Installing Solar Thermal Systems – a guide for installers, architects and engineers. James & James/Earthscan, 2005. ISBN 1-84407-125-1
- [2] Remmers, K. H.: Velká solární zařízení, Era, 2007
- [3] Peuser, F. A., Remmers, K. H., Schnauss, M.: Solar Thermal Systems. Solarpraxis, 2002.
- [4] Richtlinie VDI 2067, Blatt 4 – Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Warmwasserversorgung, 1982.
- [5] Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Technický průvodce – Větrání a klimatizace. Bolit B-press Brno, 1993.
- [6] Richtlinie VDI 2089 – Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder (Building services in swimming baths – Indoor pools), 2008.
- [7] Brož, K., Šourek, B.: Alternativní zdroje energie. Skriptum ČVUT v Praze, 2003.
- [8] Brož, K.: Vytápění. Skriptum ČVUT v Praze, 1995.

TNI 73 0302

Vydal Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha
Rok vydání 2009, 16 stran

84071 Cenová skupina 411

