

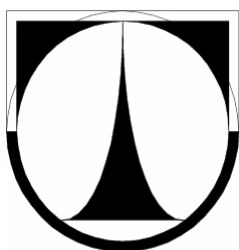
30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Simulace provozu solárních kolektorů

Ondřej PECH¹

¹ Ing. Ondřej Pech, Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, ypecho01@stud.fme.vutbr.cz

Abstrakt: Článek se zabývá využitím programu TRNSYS pro celoroční simulaci přínosu solárního kolektorového systému, využívaného pro přípravu teplé vody a přitápění v nízkoenergetickém rodinném domě. Z výsledků simulace je vyhodnocen energetický přínos solárních systémů s různými typy a počty termických kolektorů. Na základě investičních nákladů a předpokládané energetické úspory je posouzena výhodnost a ekonomická návratnost daných investic.

1. Úvod

Jednou z možností úspory energie v energeticky úsporných budovách je využití solárního kolektorového systému pro přípravu teplé vody a přitápění. Jeho výhodou je, že sluneční záření je zdarma, ale technologie na jeho využití je velmi drahá. Na pořízení solárního systému je většinou možné čerpat nějakou dotaci. Pro dosažení nízké návratnosti solárního kolektorového systému je třeba správně navrhnout jeho velikost podle potřeby tepla. Předimenzovaná soustava by zvýšila pořizovací náklady, a její potenciál by nebyl během celého roku naplno využit. V případě poddimenzované soustavy zůstávají fixní náklady na zařízení stejné a pouze náklady na nákup kolektorů by se snížily, ale energetické zisky by byly podstatně nižší. U obou variant by se ekonomická návratnost celé investice prodloužila.



Obrázek 1: Vizualizace simulovaného objektu

Cílem tohoto příspěvku je stanovit pomocí celoroční simulace v programu TRNSYS energetický přínos solárního systému s různými typy a počty termických kolektorů. Na základě investičních nákladů a předpokládané energetické úspory poté posoudit výhodnost a ekonomickou návratnost daných systémů a navrhnout vhodný typ a velikost solárních kolektorů.

2. Popis simulovaného objektu

Simulace byla provedena pro nízkoenergetický rodinný dům se dvěma nadzemními podlažními (obr. 1) ležící na severní Moravě. Obvodový plášť je postaven z vápenopískových tvárníc tloušťky 240 mm, doplněných o vnější zateplovací systém z expandovaného pěnového polystyrenu EPS 100 F tloušťky 280 mm. Podlahy jsou tepelně izolovány EPS 100 Z tloušťky 150 mm. Zateplení střechy je provedeno deskami z EPS 100 Z a EPS 100 S celkové tl. 320 mm. Okna jsou plastová zdvojená, otevíravá a sklopná, zasklená izolačním dvojsklem. Celková výpočtová tepelná ztráta budovy je 7 003 W (6 475 W prostupem tepla a 528 W větráním s rekuperací tepla s účinností 85 %) při výpočtové venkovní teplotě -15 °C a jednotné vnitřní teplotě 22 °C [1].

Hlavním zdrojem tepla je integrovaný zásobník IZT-I-925 o objemu 925 litrů, ze kterého je odebírána přes integrovaný výměník teplá voda (TV). Na zásobník je také napojena

teplovzdušná vytápěcí jednotka Duplex RK 1800/420 a ostatní součásti vytápěcího systému. Ohřev vody v zásobníku zajišťují 3 elektrické topné spirály o celkovém výkonu 10 kW. Do nádrže je napojen pomocí měděného potrubí DN 18×1 mm s tepelnou izolací tl. 30 mm solární systém s teplovodními kolektory umístěnými na střeše 2. NP, které jsou od jižního směru odkloněny o 30° na západ a jsou skloněny pod úhlem 45° [1].

3. Celoroční simulace

Energetická simulace byla provedena pomocí software TRNSYS 16.1. Jde o modulární program určený pro dynamickou analýzu energetických systémů staveb [2]. Schéma zapojení simulace v programu TRNSYS je zobrazeno na obr. 3.

V celoroční simulaci byla použita hodinová data tzv. průměrného klimatického roku, převzata z databáze METEONORM pro meteorologickou stanici Ostrava – Poruba.

Teplota vytápění v domě byla řízena elektronickým regulátorem na 22 °C během dne a na 18 °C v době útlumu. Útlum je odlišný ve všední dny (od 22 h večer do 3 h ráno) a o víkendech (od 23 h večer do 5 h ráno).

Spotřeba teplé vody byla uvažována 250 litrů/den o výstupní teplotě 50 °C řízené směšovací ventilem. Odběrová křivka je pro všední dny a víkendy odlišná.

Simulovaný průběh spotřeby tepla během roku lze vidět na obr. 2. Celková roční spotřeba tepla je 14 929 kW·h při započítání solárních zisků okny s uvažovaným stíněním převisem 2. NP. Z celkové spotřeby tepla činí 10 681 kW·h spotřeba tepla na vytápění a 4 248 kW·h na ohřev teplé vody.

Solární systém byl simulován s různými typy kolektorů. Pro simulaci plochých kolektorů byl použit typ 1d a pro trubicové vakuové kolektory typ 71. Oba typy využívají kvadratickou závislostí jejich účinnosti dle vztahu [3]:

$$\eta = \frac{Q}{S \cdot G} = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_a)^2}{G} \quad (1)$$

kde:

η – okamžitá účinnost kolektoru [-]

Q – užitečné teplo získané z kolektoru [W]

S – plocha apertury nebo absorberu [m²]

G – globální záření na plochu kolektoru [W·m⁻²]

η_0 – optická účinnost [-]

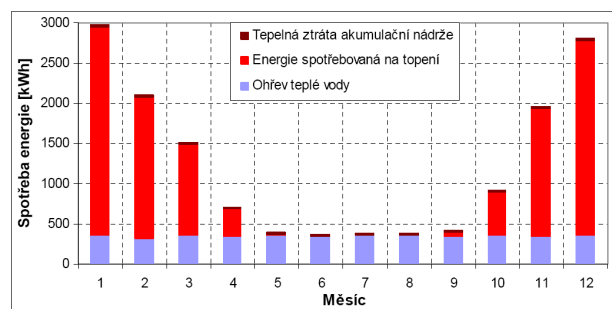
a_1 – lineární koeficient tepelné ztráty [W·m⁻²·K⁻¹]

t_m – střední teplota média v kolektoru [°C]

t_a – teplota okolního vzduchu [°C]

a_2 – kvadratický koef. tepelné ztráty [W·m⁻²·K⁻²]

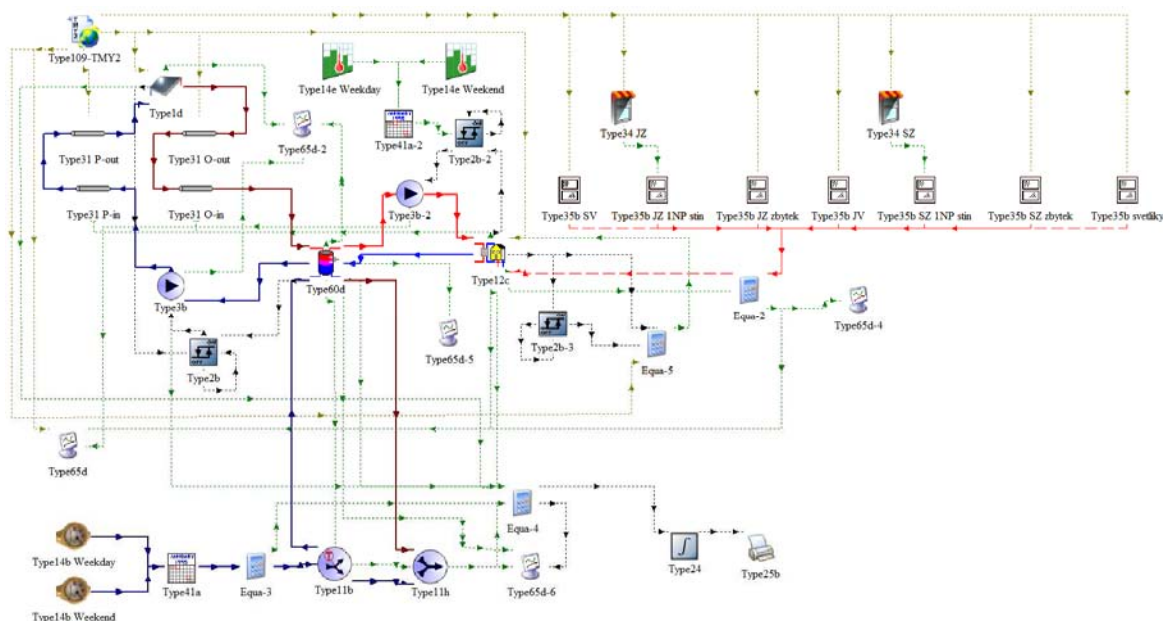
Požadované parametry η_0 , a_1 , a_2 včetně modifikátor úhlu dopadu slunečních paprsků (IAM) vyžadovaného u trubicových vakuových kolektorů byly pro jednotlivé typy kolektorů převzaty z firemní literatury [4], [5].



Obrázek 2: Simulovaná spotřeba tepla během roku

Tepelné ztráty potrubí byly simulovány pomocí typu 31, v němž podle počtu použitých kolektorů byla měněna délka potrubí vedoucího venkovním prostředím.

Pro simulaci čerpadla solárního systému byl použit typ 3b. Průtok dodávaný čerpadlem byl měněn podle počtu použitých kolektorů v rozsahu 20 – 100 kg·h⁻¹. Pro řízení čerpadla byl použit regulátor typ 2b, který spíná čerpadlo, pokud je rozdíl mezi výstupní teplotou z kolektoru a výstupní teplotou z nádrže do kolektoru větší než 10 °C a vypíná, pokud je tento rozdíl menší než 2 °C. Tento regulátor také plní ochranu akumulční nádrže a při překročení maximální teploty v nádrži (90 °C), odpojí čerpadlo.



Obrázek 3: Schéma zapojení simulace v programu TRNSYS

Akumulační nádrž byla simulována pomocí typu 60d. Pro účely simulace byl solární okruh napojen přímo do nádrže bez výměníku, aby docházelo ke stratifikaci teplé vody ze solárního systému. Použitím výměníku by nedocházelo k této stratifikaci a dodané teplo by nemohlo být přímo efektivně využito. Připojení otopné soustavy je pomocí výměníku tepla. Dohřev nádrže provádí elektrická topná spirála 4 kW umístěná v horní části nádrže a dvě topné spirály (4 a 2 kW) ve spodní části nádrže, které byly při simulaci spojeny v jednu.

4. Výsledky řešení a diskuse

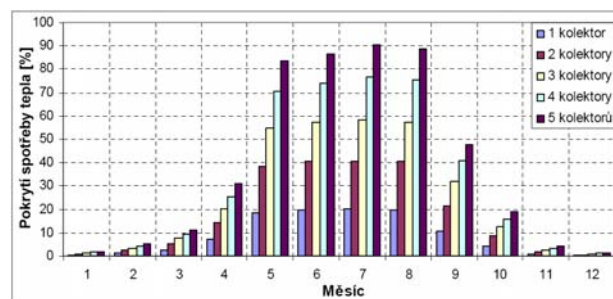
Byl simulován provoz tří typů solárních kolektorů (dva ploché a jeden trubicový vakuový) v počtu 1 až 5 ks. Jejich vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1: Vlastnosti použitých solárních kolektorů

Typ kolektoru	TS 330	TS 400	AP-20
Celková plocha [m ²]	2,030	2,029	2,886
Plocha apertury [m ²]	1,778	1,845	1,876
Plocha absorberu [m ²]	1,778	1,698	1,606
η_0 [-]	0,740	0,853	0,717
a_1 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,275	4,698	1,520
a_2 [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,017	0,008	0,008

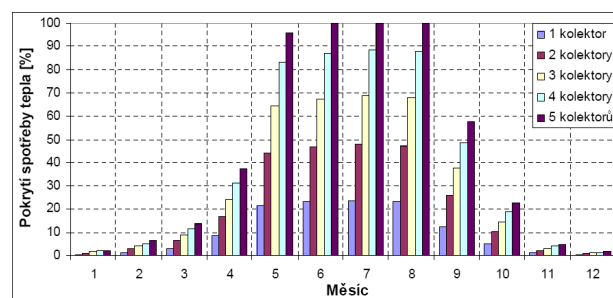
Obrázek 4 uvádí výsledky simulace skutečně použitých plochých kolektorů TS 330 od firmy

THERMO/SOLAR [4]. Lze vidět, že instalovaných 5 ks pokrývá v letních měsících spotřebu tepla z 80 až 90 %. Zato v zimních měsících je jejich přínos minimální. Celkové celoroční hodnoty úspor uvádí tabulka 2.



Obrázek 4: Simulace provozu kolektorů TS 330

Na obr. 5 jsou uvedeny výsledky simulace vakuových plochých kolektorů TS 400 téže firmy. Mají o trochu menší účinnou plochu, ale zato vyšší optickou účinnost. V počtu 5 ks jsou schopny pokrýt letní spotřebu tepla ze 100%.

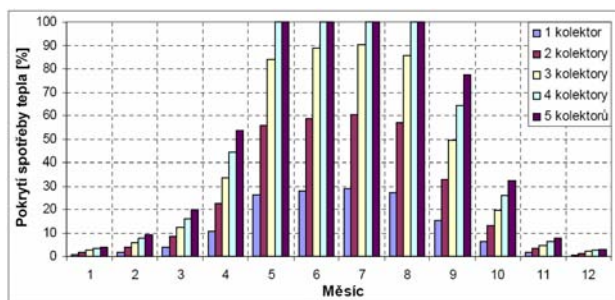


Obrázek 5: Simulace provozu kolektorů TS 400

Tabulka 2: Ekonomické parametry solárních kolektorů

Typ	TS 330	TS 400	AP-20
Optimální počet kolektorů [ks]	5	5	4
Jednotková cena [Kč]	10 520,-	17 830,-	21 550,-
Celkové investiční náklady (vč. DPH 10 %) [Kč]	129 107,-	169 312,-	161 557,-
Roční energetický přínos [kW·h]	2433	2843	3124
Pokrytí celkové spotřeby tepla [%]	16,3	19,0	20,9
Pokrytí spotřeby tepla na ohřev TV [%]	57,3	66,9	73,5
Doba návratnosti bez dotace [roků]	19,0	20,2	18,8
Doba návratnosti s dotací [roků]	13,8	16,3	14,8

Jako zástupce trubicových vakuových kolektorů byl zvolen typ Apricus AP-20 firmy South East Solar [5]. Pro pokrytí letní spotřeby tepla stačí 4 ks (obr. 6). Jejich nevýhodou je výrazně vyšší cena, přesto však podstatně nižší než u jiných kolektorů téhož druhu [1].



Obrázek 6: Simulace provozu kolektorů AP-20

Z výsledků simulace bylo provedeno ekonomické hodnocení. Investiční náklady vycházely ze stejných jednotkových cen, náklady na montáž a uvedení do provozu byly ponechány v původní výši. Doba návratnosti vychází 18,8 až 20,2 roku bez čerpání dotace resp. 13,8 až 16,3 při uvažování státní dotace 55 000 Kč. Při vyhodnocení bylo uvažováno s 6% ročním nárůstem cen elektrické energie a s pěti letou životností nemrznoucí kapaliny.

5. Závěr

Z energetické simulace celoročního provozu solárních kolektorů, pro přípravu teplé vody a vytápění, v software TRNSYS bylo získáno energetické srovnání zvolených typů solárních kolektorů a provedeno ekonomické hodnocení. Z uvedených výsledků plyne výhodnost použití vakuových trubicových kolektorů AP-20, jako dodatkového zdroje tepla a to v případě nezískání státní dotace na jejich pořízení. Nevýhodou jsou vysoké počáteční investiční

náklady a doba návratnosti 18,8 roků, která se již blíží jejich udávané minimální životnosti (25 let). Oproti tomu v případě získání státní dotace na vybudování solárního systému, dosahují solární kolektory TS 330 nejkratší doby návratnosti a to již zajímavějších 13,8 roku. Simulace provozu solárních kolektorů dává další možnost hodnocení jejich provozu oproti jednoduchým tabulkovým výpočtům [6].

6. Poděkování

Příspěvek byl zpracován s podporou grantu GAČR 101/09/H050 „Výzkum energeticky úsporných zařízení pro dosažení pohody vnitřního prostředí“ a grantu FSI-S-11-6.

Autor děkuje Mgr. Tomáši Vrobelovi za laskavé poskytnutí projekčních podkladů.

7. Literatura

- [1] PECH O.: *Energetická simulace provozu solárních kolektorů v nízkoenergetickém rodinném domě s teplovzdušným vytápěním*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [2] ŠOUREK B., KOREČKO J.: *Simulační prostředí TRNSYS* [online]. 2.7.2007 [cit. 15.5.2011]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1956-simulacni-prostredi-trnsys>
- [3] MATĚJKA R., DLABA R.: *Zkoušení solárních kolektorů* [online]. 5.4.2010 [cit. 15.5.2011]. Dostupné z: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6366-zkouseni-solarnich-kolektoru>
- [4] THERMO/SOLAR – Download [online]. [cit. 15.5.2011]. Dostupné z: <http://www.thermosolar.sk/>
- [5] SOUTH EAST SOLAR – Certification [online]. [cit. 15.5.2011]. Dostupné z: <http://www.southeastssolar.net/AP%20Solar%20Collector%20SPF%20Performance%20Report%202004.pdf>
- [6] CIHELKA J.: *Solární tepelná technika*, Praha: Česká typografie, a.s., 1994