

Solární skleník jako zdroj tepla pro teplovzdušné větrání

Solar greenhouse as heat source for hot-air ventilation

Dr. Ing. Michal JAROŠ a kol.
VUT v Brně, Fakulta strojního
inženýrství

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek seznamuje s výsledky experimentů – měření tepelných zisků solárního skleníku vestavěného v šikmé střeše půdy penzionu. Navazuje tím na dřívější práci [3], ve které jsou uvedeny výsledky 2D a 3D modelu. Aniž by byla uvedena celková apertura skleníku, jsou vyhodnoceny tepelné zisky v jasném zimním dnu cca 45 MJ/d, při polojasné obloze 7 MJ/d a při zatažené obloze jsou zisky zanedbatelné.

Klíčová slova: teplovzdušné větrání, solární skleník, tepelný zisk

The article informs about results of experiments – heat gains measuring of solar greenhouse built in the loft sloping roof of the boarding house. It continues by this the former work [3] where the results are indicated of the 2D and 3D models. Without indicating the whole greenhouse aperture the heat gains of approx. 45 MJ/d on a clear winter day and of 7 MJ/d under half-clear sky are indicated. Under overcast sky the heat gains are negligible.

Key words: hot-air ventilation, solar greenhouse, heat gain

Solární architektura a využívání sluneční energie jsou v dnešní době velmi diskutovaná témata. Slunce sice poskytuje energii zdarma, problémem je však její převedení do využitelné formy. Množství sluneční energie dopadající na povrch Země je navíc značně proměnlivé jak v průběhu roku, tak i v důsledku různých meteorologických podmínek. Je proto třeba zjistit, kdy jsou solární prvky výhodné a kdy je lepší energii získávat jinak.

Jednou z investičně nenáročných možností, jak využít sluneční energie, je její zachycování a jímání v prosklených půdních prostorech budov – tzv. solárních sklenících. Získaný ohřátý vzduch může pak být využit pro potřeby větrání nebo vytápění.

Příspěvek se zabývá vyhodnocením experimentálních údajů z provozu teplovzdušného větracího systému s předehřevem větracího vzduchu v solárním skleníku. Navazuje tak na příspěvek [3] konference „Klimatizace a větrání 2002“.

1. SYSTÉM TEPLOVZDUŠNÉHO VĚTRÁNÍ

využívající ohřevu větracího vzduchu v solárním skleníku je instalován v tzv. Slunečním penzionu ve Svitavách. Pension se skládá ze čtyř příčných budov propojených spojovacím traktem, s celkovým počtem 115 bytů (blíže viz [1 až 3]). Všechny budovy splňují předpoklady pasivního solárního vytápění. Jižní část jejich sedlových střech je vždy prosklená, určená pro ohřev vzduchu v podkroví, které tvoří tzv. solární skleník (obr. 1).

Ohřátý vzduch je možno využít pro větrání příp. vytápění obytných místností (obr. 2) nebo pro ohřev teplé užitkové vody tepelnými čerpadly.

Cílem výzkumu probíhajícího v rámci projektu COST G3 bylo mj. odhadnout dosahované energetické úspory. V nejjížnější budově komplexu byl instalován měřicí systém průběžně monitorující teploty v různých místech solárního skleníku, teplotu a rychlost vzduchu v nasávacím potrubí ventilace a meteorologické parametry včetně intenzity slunečního záření (obr. 3).

2. KLIMATICKÉ PODMÍNKY V MĚŘENÉ LOKALITĚ

Sluneční pension leží na okraji Svitav, přibližně na 49° 45' severní šířky a 16° 30' východní délky v nadmořské výšce cca 450 m n.m. Město Svitavy leží v mírně teplé oblasti, s počtem 40–50 dnů jasných, 120–160 dnů zatažených, 20–30 letních dnů, 110 až 160 mrazových dnů a 40 až 50 ledových dnů. Průměrné teploty vzduchu bývají v lednu –3 až –5 °C, v dubnu a říjnu 6 až 7 °C a v červenci 16 až 17 °C [4].

Nejbližší meteorologická stanice se nachází v obci Svatouch, ve vzdálenosti přibližně 30 km vzdušnou čarou. Naměřené meteorologické údaje lze proto s dostatečnou přesností použít i pro lokalitu zkoumaného objektu (tab.1 a 2).

3. SOLÁRNÍ ZISKY VĚTRACÍHO SYSTÉMU

Energetický zisk solárního předehřevu uvažujeme jako množství tepla, které by bylo třeba k ohřátí venkovního vzduchu na teplotu nasávaného vzduchu:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_s - t_o) \cdot \tau = S \cdot w \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_s - t_o) \cdot \tau \quad (1)$$

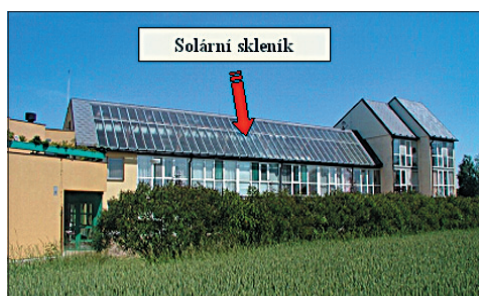
kde \dot{m} – hmotnostní tok vzduchu, c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu, t_s – teplota vzduchu na sání ventilace, t_o – venkovní teplota, S – průřez potrubí,

Tab. 1 – Průměrné měsíční a roční teploty v meteorologické stanici Svatouch. Převzato z [4]

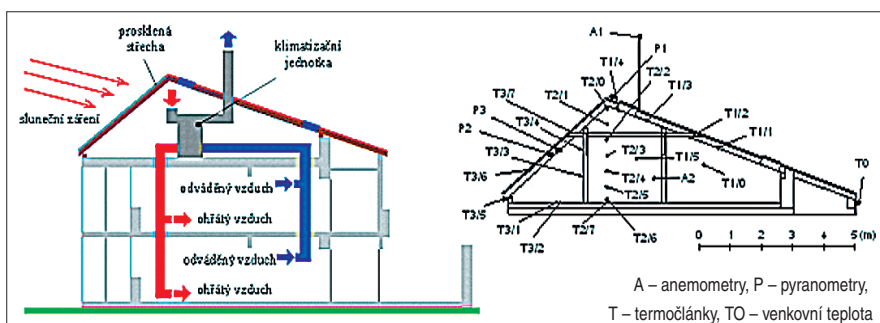
Průměrné teploty [°C]													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	celý rok
dlouhodobé	-4,4	-2,9	0,5	5,2	10,3	13,4	15,0	14,8	11,4	6,8	1,0	-2,7	5,7
rok 2001	-3,3	-1,2	1,2	4,9	12,4	12,0	15,8	16,6	8,9	10,0	-0,5	-5,6	5,9
rok 2002	-2,6	1,4	2,6	5,2	13,7	15,4	16,8	17,4	10,5	4,9	3,4	-4,1	7,1

Tab. 2 – Doba trvání slunečního svitu během jednotlivých měsíců v meteorologické stanici Svatouch. Převzato z [4]

Doba trvání slunečního svitu [h]													
měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	celý rok
dlouhodobé	47,8	64,8	108,6	150,0	195,7	199,7	209,6	203,3	151,0	126,8	50,5	41,1	1548,9
rok 2001	53,4	83,0	53,9	136,2	278,2	164,7	202,2	235,3	47,8	104,6	55,0	59,6	1473,9
rok 2002	56,5	90,9	154,5	137,6	241,0	264,6	231,5	212,4	146,6	53,6	27,2	41,9	1658,3



Obr. 1 – Jižní budova Slunečního penzionu ve Svitávách



Obr. 2 (vlevo) – Schéma teplovzdušného ventilačního systému Slunečního penzionu
Obr. 3 (vpravo) – Měřicí systém solárního skleníku

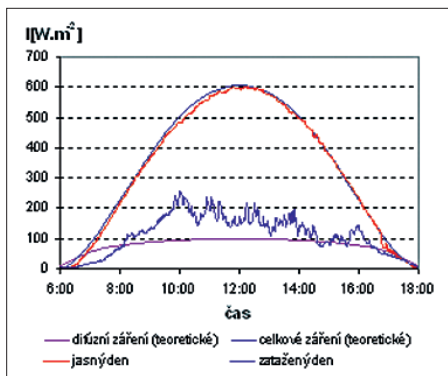
ρ – hustota vzduchu při teplotě t_s , w – rychlost proudění vzduchu v potrubí, τ – doba chodu větrání.

Představuje tedy úsporu energie při nasávání předehřátého vzduchu ze solárního skleníku oproti situaci, kdy by byl nasáván chladný venkovní vzduch. Poněvadž však celkový energetický zisk závisí na době chodu větrání, jsou pro posouzení vlivu solárního skleníku vhodnější minutové hodnoty energetických úspor.

4. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

Při vyhodnocování systému teplovzdušného větrání jsme vycházeli z dat naměřených za topnou sezónu 2001–2002.

Lze předpokládat, že základním parametrem, na němž závisí velikost energetických zisků, je průměrná intenzita solární radiace v daném dni. Aby bylo možno naměřená data porovnat a zobecnit získané výsledky, bylo nejprve nutno rozdělit dny na jasné, polojasné a zatažené. To lze podle denního průběhu intenzity slunečního záření. Za jasných dnů převládá přímá složka slunečního záření. Ve dnech, kdy je zataženo, převládá naopak složka difúzní. Za polojasných dnů se střídají oba typy záření (obr. 4).



Obr. 4 – Denní průběh intenzity slunečního záření za slunečného a zataženého dne

Pro vybrané charakteristické dny jednotlivých měsíců otopného období (vždy po třech dnech jasných, polojasných a zatažených) pak byly porovnány naměřené údaje a vypočteny tepelné zisky ze solárního skleníku.

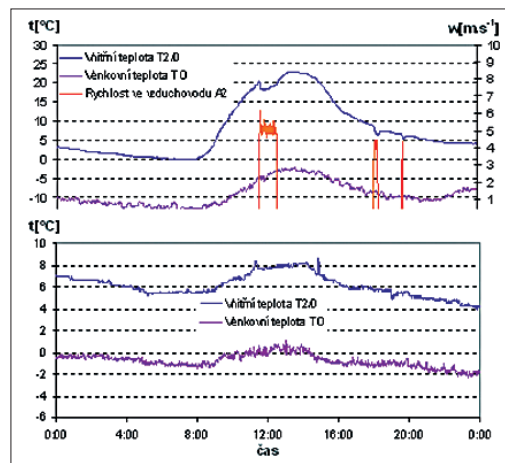
4.1 Klidové rozložení teplot v solárním skleníku

Protože teplotní pole v solárním skleníku není homogenní, je tato otázka důležitá z hlediska umístění nasávacích vyústek ventilačního systému. Z doposud vyhodnocených měření vyplývá, že:

- Vertikální stratifikace teplot, která byla předpovězena numerickými modely [2, 3], značně závisí na aktuální intenzitě slunečního záření; za slunečných letních dnů je podstatně vyšší než za srovnatelných zimních dnů.
- V létě dosahují teplotní rozdíly po výšce půdního prostoru 5 K a více, v zimě pouze 1 až 2 K.
- V noci dochází k vyrovnání teplot s mírnými lokálními maximy u doposud teplé podlahy a v nejvyšším místě prostoru (teplotní rozdíly opět v rozmezí 1 až 2 K).

Z hlediska provozu teplovzdušného větrání jsou podstatné teplotní poměry v zimním a přechodném období roku (v létě je větrací systém přestaven na nasávání chladného venkovního vzduchu):

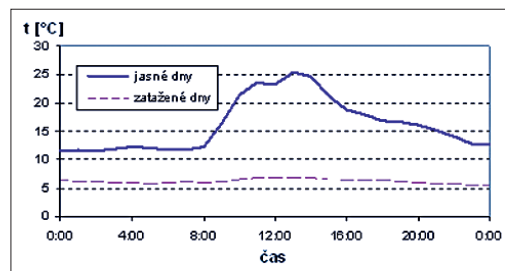
- Za slunečných zimních dnů je denní nárůst teploty v solárním skleníku cca 20 až 25 K (obr. 5). Protože venkovní teplota současně narostla jen asi o 10 K, je zvýšení teploty způsobené zachyceným slunečním zářením 10 až 15 K. Z grafu je rovněž dobře patrné snížení vnitřní teploty v půdním prostoru po zapnutí větrání.
- Průměrný rozdíl venkovní a maximální vnitřní teploty (obr. 6), vyhodnocený z měření v několika srovnatelných slunečných zimních dnech (8., 9. a 14. 12. 2002), se pohybuje od 12 K (noc) do 25,5 K (mezi 13. až 14. hodinou).
- V oblačných zimních dnech je denní nárůst teplot pouze 2 až 3 K, průměrný rozdíl venkovní a maximální vnitřní teploty se udržuje kolem 6 až 7 K.
- V přechodném období (3. 2002) dosahuje denní nárůst teplot za slunečných dnů 30 K i více, za oblačných dnů pouze 4 K.
- V polojasných dnech se teplotní poměry pohybují mezi těmito dvěma mezními stavy.



Obr. 5 – Typický denní průběh maximální teploty v solárním skleníku za jasného (nahore) a zataženého (dole) zimního dne (měřeno 9. 12. 2001 a 1. 12. 2001)

4.2 Teplota nasávaného vzduchu

Z teploty vzduchu v sání lze usoudit, z jaké části solárního skleníku je vzduch nasáván. Pro porovnání byly vybrány úseky provozu větrání delší než půl hodiny, aby bylo zaručeno ustálení teplot. Z řady měření je patrné, že teplota v potrubí odpovídá v jasných a polojasných



Obr. 6 – Průměrný rozdíl venkovní a maximální vnitřní teploty v solárním skleníku za jasných a zatažených zimních dnů

dnech teplotě ve výšce přibližně 250 cm nad podlahou (obr. 7), což odpovídá skutečné výšce nasávací vyústky. Teplota ve výšce 300 cm se od teploty ve 250 cm liší jen nepatrně. Tento závěr je příznivější než výsledky předpovídané numerickým modelováním [3]. V zatažených dnech je pak teplota v potrubí vyšší než teplota v 250 cm i ve 300 cm. Důvod tohoto jevu se nepodařilo zjistit.

4.3 Tepelné zisky

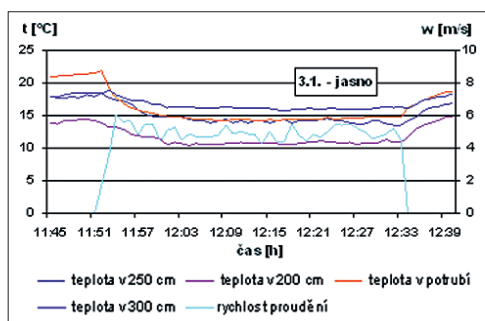
Pro velikost tepelného zisku je rozhodující rozdíl teploty v sání oproti venkovní teplotě (obr.8). Tyto údaje byly zpracovány pro vybrané charakteristické dny otopného období 2001–2002. Vzhledem k předpokladu, že nejstudenější měsíc je leden, zatímco únor a prosinec, resp. březen a listopad jsou zhruba teplotně stejné, bylo vybráno po třech dnech jasných, polojasných a zatažených v měsících lednu, únoru a březnu + listopadu.

Situaci komplikuje fakt, že doba provozu větrání nebyla ve všech dnech stejná (za jasných dnů je větrání zapínáno centrálně 2x denně na dobu cca 30 min, v zatažených dnech pouze krátkodobě uživateli bytů). Vypočtené hodnoty energetických zisků dosažené ve vybraných dnech v lednu 2002 jsou uvedeny v tab.3. Je zřejmé, že jejich hodnoty jsou i ve srovnatelných dnech velmi rozdílné, což je způsobeno mj. různou dobou zapnutí větrání. Pro posouzení vlivu solárního skleníku jsou proto vhodnější průměrné minutové hodnoty energetických zisků. I tento parametr však vykazuje značný rozptyl (tab.4). Nejvíce tepla za 1 minutu provozu větrání bylo získáno za jasných dnů ($293\text{--}844 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$, celkový průměr $594 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$). Největší rozptyl přitom vykazují lednové hodnoty. V zatažených dnech byla získána přibližně 1/3 až 1/4 tepla jasného dne (celkový průměr $167 \text{ kJ}\cdot\text{min}^{-1}$). V polojasných dnech bylo tepla získáno méně než v jasných dnech, ale v únoru a březnu byly dny, které se vyrovnaly slunečným. Lednové polojasné dny se zase blíží spíše dnům zataženým.

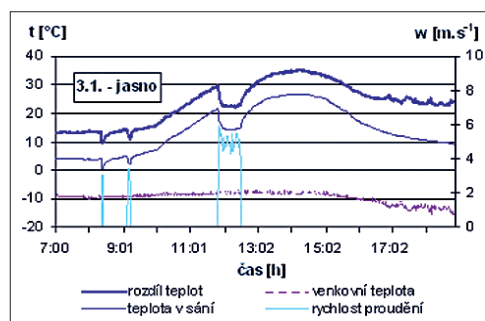
Získané výsledky prokazují, že solární skleník představuje zajímavou, investičně nenáročnou možnost zachycování solární energie. Nejlepších parametrů přitom dosahuje v přechodných obdobích roku, kdy teploty v něm dosahují za slunečných dnů 30 až 40 °C. Pro provozovatele objektu je obvykle nejpodstatnější dosažený finanční přínos. Při současných cenách tepla kolem 350 Kč / GJ dosahují úspory řádově desítek korun denně. Pokud by však byl systém

Tab. 3 – Tepelné zisky dosažené ve vybraných dnech v lednu 2002

LEDEN 2002								
Datum	τ [s]	$\varnothing \rho$ [kg.m ⁻³]	$\varnothing w$ [m.s ⁻¹]	$\varnothing \dot{m}$ [kg.s ⁻¹]	m [kg]	$\varnothing \Delta\tau$ [°C]	Q [MJ]	q [MJ.min ⁻¹]
Jasno								
3.1.2002	3120	1,224	3,6	0,530	1653	15,0	43,36	0,834
23.1.2002	5400	1,181	4,7	1,682	3628	10,8	44,09	0,490
29.1.2002	7500	1,177	5,0	0,699	5246	4,5	36,64	0,293
Polojasno								
2.1.2002	720	1,231	2,7	0,404	291	4,8	1,375	0,115
20.1.2002	2400	1,218	3,8	0,549	1319	3,8	7,086	0,177
25.1.2002	1920	1,207	4,1	1,594	1140	6,5	7,915	0,247
Zataženo								
1.1.2002	300	1,235	3,2	0,468	140	1,1	0,156	0,031
9.1.2002	900	1,218	3,8	0,554	499	8,3	4,198	0,280
24.1.2002	300	1,223	3,5	0,508	152	3,4	0,530	0,106



Obr. 7 – Porovnání teploty v sání s teplotami v solárním skleníku (měřeno 3.1.2002)



Obr. 8 – Denní průběh teplot ve větracím systému za slunečného a zimního dne (měřeno 3.1.2002)

provozován původně zamýšleným způsobem – jako teplovzdušné přitápění v přechodných obdobích roku s provozní dobou během celého dne – byly by úspory řádově větší, což již může být ekonomicky zajímavé.

Spojení na autora:

Energetický ústav, odbor termomechaniky a techniky prostředí, Technická 2, 616 69 Brno tel.: 541 143 282, fax: 541 143 269, e-mail: jaros@eu.fme.vutbr.cz

Poděkování:

Práce vznikla s finanční podporou grantu MŠMT OC G3.30 a výzkumného záměru CEZ: J22/98:26210001.

Příspěvek byl přednesen na konferenci Klimatizace a větrání 2004.

Použitá zdroje:

- HUDEČ, M.: *Výsledky hodnocení energetických přínosů Slunečního penzionu Svítavy*. Sborník IV. mezinár. konf. EEBW, SEVEN, Praha, 1995.
- CHARVÁT, P., JAROS, M., KATOLICKÝ, J., and SVORČIK, P.: *Numerical modeling of Airflow and Temperature Fields in a Glazed Attic*. Proc. of 7th Int. Conf. Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, 2001, pp. 441–447.
- JAROŠ, M., KATOLICKÝ, J., ŠVORČÍK, P.: *Numerický výpočet nasávání větracího vzduchu ze solárního skleníku*. Sborník konf. „Klimatizace a větrání 2002“, Praha, 2002, s. 57-62.
- <http://www.chmi.cz> – oficiální internetové stránky Českého hydrometeorologického ústavu. ■

Tab. 4 – Porovnání minutových tepelných zisků dosažených ve vybraných charakteristických dnech

Jasné dny					
Datum	q [kJ.min ⁻¹]	Datum	q [kJ.min ⁻¹]	Datum	q [kJ.min ⁻¹]
3.1.2002	833,88	3.2.2002	480,5	6.3.2002	655,77
23.1.2002	489,94	15.2.2002	844,45	9.3.2002	506,34
29.1.2002	293,13	19.2.2002	693,71	11.3.2002	549,09
Průměr	538,98	Průměr	672,89	Průměr	570,40
Polojasné dny					
2.1.2002	114,64	1.2.2002	390,25	3.3.2002	576,79
20.1.2002	177,15	14.2.2002	772,19	7.3.2002	250,42
25.1.2002	247,33	28.2.2002	382,67	10.3.2002	401,49
Průměr	179,71	Průměr	515,04	Průměr	409,57
Zatažené dny					
1.1.2002	31,15	7.2.2002	210,58	2.3.2002	246,02
9.1.2002	279,87	13.2.2002	179,36	22.11.2001	114,17
24.1.2002	105,95	25.2.2002	145,15	29.11.2001	189,18
Průměr	138,99	Průměr	178,36	Průměr	183,12