

Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.,
Ing. Bořivoj ŠOUREK
ČVUT v Praze, Strojní fakulta,
Ústav techniky prostředí

Pilotní instalace solárního absorpčního chlazení v České republice



Ústav techniky prostředí

Pilot Installation of Solar Absorption Cooling in Czech Republic

Recenzent
prof. Ing. Jiří Petrák, CSC.

Článek ve své první části popisuje princip absorpčního chladicího zařízení, uspořádání tepelného oběhu a pro dvojici látek voda (chladiivo) – LiBr (absorbent) jeho znázornění v tepelném diagramu. Poskytuje též základní informaci o závislosti účinnosti solárního kolektoru na jeho typu a teplotě ohřívané látky.

Druhá část článku je věnována popisu dvou realizovaných zařízení, u nichž bylo využito solárního systému jako zdroje pohonné energie pro absorpční chladicí zařízení jmenovitého chladicího výkonu 45 a 564 kW.

Klíčová slova: solární energie, absorpční chladicí zařízení, chladicí faktor

Principle of absorption cooling equipment, thermal circuit arrangement with its demonstration in a thermal diagram for a couple of substances water (refrigerant) – LiBr (absorbent) are described in the first part of the paper. The paper also gives brief information about the dependence of solar collector efficiency on its type and temperature of heated substance.

The second part is dedicated to the description of two realized devices, which use a solar system as a driving energy source for absorption cooling equipment with a nominal refrigerating capacity of 45 and 564 kW.

Keywords: solar energy, solar cooling, absorption cooling device, coefficient of performance

ÚVOD

Vyšší nároky na tepelnou pohodu a narůstající tepelná zátěž vnitřních prostor vede v posledních desetiletích ve vyspělých zemích k nárůstu potřeby chlazení a klimatizace v budovách. V současné době se chlazení a klimatizace začíná prosazovat již nejen v administrativních budovách, ale také v bytovém sektoru. Tradiční technologie, zastoupené elektricky poháněnými kompresorovými chladicími zařízeními, vykazují některé významné nevýhody, např. vysoká cena chladu a výrazná spotřeba elektrické energie pro jeho výrobu, s níž souvisí problematické energetické špičky a výpadky elektrické sítě v extrémních tepelných zátěžích budov v letním období.

Alternativou k chladicím zařízením poháněným elektrickou energií jsou zařízení využívající pro pohon tepelnou energii z obnovitelných zdrojů nebo odpadní teplo [1]. Zvláště slibné je využití sluneční energie vzhledem ke skutečnosti, že maxima slunečního záření téměř korespondují se špičkami tepelné zátěže v budovách (letní období). Z toho důvodu je v posledním desetiletí právě kombinace solárních tepelných kolektorů a teplem poháněných chladicích zařízení předmětem mnoha studií, výzkumných úkolů a demonstračních projektů [2, 3, 4].

V České republice byly během roku 2007 instalovány první dva systémy tzv. solárního chlazení, využívajícího absorpčních chladicích zařízení poháněných teplem ze solárních kolektorů: chlazení administrativních, ubytovacích a výrobních prostor firmy Instaplast v Zápech u Brandýsa a chlazení hotelových pokojů v hotelu Duo v Praze na Proseku.

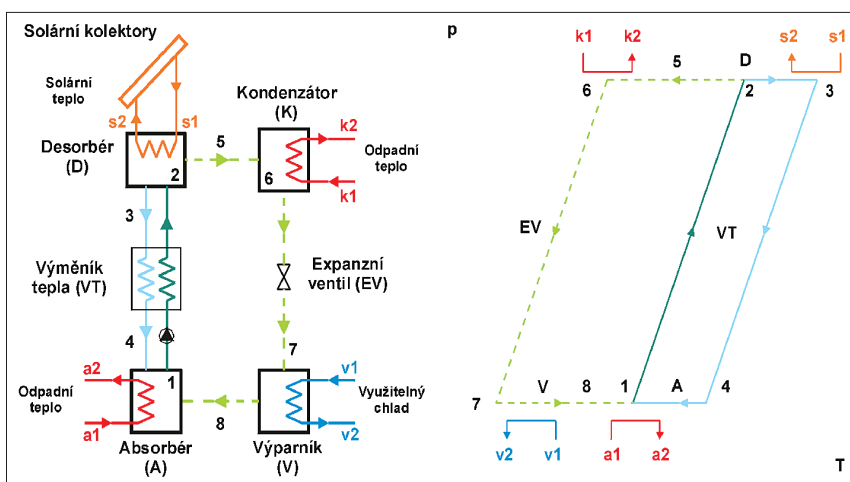
PRINCIP SOLÁRNÍHO ABSORPČNÍHO CHLAZENÍ

V současné době jsou centrem zájmu o využití sluneční energie pro chlazení a klimatizaci technologie využívající teplo ze solárních kolektorů na bázi uzavřených cyklů (absorpční chladicí zařízení s kapalným sorbentem, adsorpční jednotky s tuhým sorbentem) a otevřených cyklů (klimatizační jednotky s desikační-

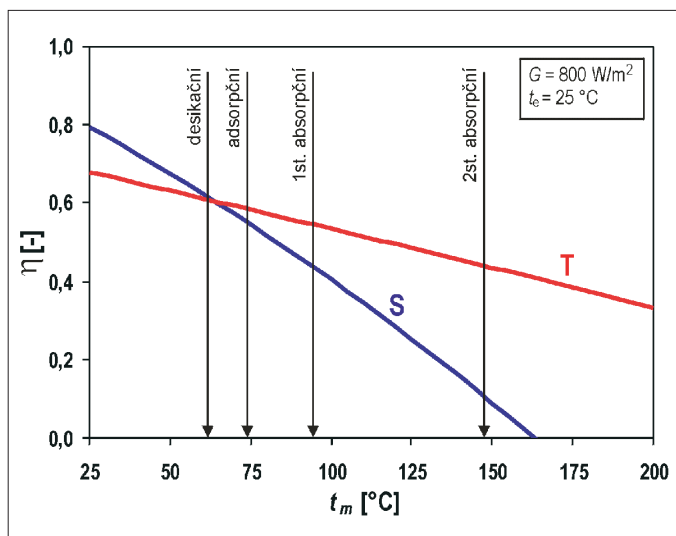
mi rotačními výměníky s tuhým sorbentem a se sprchovanými deskovými výměníky s kapalným sorbentem).

Z hlediska dostupnosti technologie pro solární chlazení se ukazují velmi výhodnými absorpční chladicí jednotky, obecně známá technologie, zavedená v současné době především na trhu v USA a Asii. Jednotky jsou k dispozici především ve výkonových řadách nad 200 kW, pouze malá část je vyráběna ve výkonech pod 100 kW. Běžně používané jsou především v aplikacích s vysokoteplotními zdroji tepla (plyn, pára), v posledních desetiletích také v kombinaci s využitím odpadního tepla např. kogeneračních jednotek (trigenerace). Absorpční chladicí zařízení s horkovodním primárním zdrojem lze jednoduše adaptovat pro použití s vysokoteplotními solárními kolektory (vakuové, případně koncentrační). Absorpční chladicí jednotky jsou používány ve většině v současné době provozovaných solárních chladicích systémů v Evropě.

Absorpční chladicí cyklus je v podstatě podobný parnímu kompresorovému cyklu. Zásadním rozdílem je způsob stlačení chladiva (obr. 1, v levé části schématu). V absorpční jednotce je stlačení chladiva (komprese) dosaženo nejprve pohlcením chladiva v kapalném sorbentu v absorberu (absorpční teplo je odvedeno), a poté je bohatý roztok přečerpán na vyšší tlak



Obr. 1 Schéma solárního jednostupňového absorpčního cyklu a teplotní/tlakové poměry



Obr. 2 Křivky účinnosti solárních kolektorů a charakteristické provozní teploty chladicích cyklů

běžným oběhovým čerpadlem. Chladivo s nízkým bodem varu je vypuzeno z roztoku teplem dodaným ze solárních kolektorů do desorbéru (generátoru). Tímto způsobem je chladivo stlačeno bez vysoké spotřeby mechanické práce jako u parních kompresorových cyklů. Páry chladiva se poté srážejí v kondenzátoru (kondenzační teplo je odvedeno) a po expanzi na nízký tlak se opět vypařují ve výparníku. Tím je zajištěn chladicí účinek a ve výparníku je odebráno teplo vodě určené pro účely chlazení (využitelný chlad). Páry chladiva jsou potom navraceny do roztoku v adsorbéru, kde se znovu pohlcují. Mezi adsorbérem a desorbérem se oběhovým čerpadlem dopravuje bohatý a ochuzený roztok s rekuperací tepla v tepelném výměníku.

V praxi se používají dvě kombinace pracovních látek (roztok/chladivo): LiBr / voda pro teploty chladicí vody od 6 do 20 °C a voda / NH_3 pro teploty od -60 do 20 °C. Chladicí faktory jednostupňových cyklů se pohybují mezi 0,6 a 0,7 pro teploty teplosnosné látky solárního okruhu 80 až 100 °C. Relativně nízký chladicí faktor a s ním související potřeba velké plochy solárních kolektorů u jednostupňového cyklu lze zlepšit vícestupňovým cyklem, avšak při vyšších provozních teplotách: dvojstupňový cyklus s chladicím faktorem 1,0 až 1,4 při 120 až 170 °C, trojstupňový cyklus s chladicím faktorem 1,7 při teplotách nad 200 °C.

Zásadním krokem oproti standardním tepelně poháněným adsorpčním zařízením je aplikace solárních kolektorů jako zdroje tepla. Cílem využití sluneční energie je docílit výrazného snížení spotřeby primárních paliv

v období, kdy je nadbytek slunečního záření. Určitou výzvou je skutečnost, že s rostoucí „hnací“ teplotou adsorpčního cyklu se zvyšuje jeho účinnost (chladicí faktor). Solární chladicí soustavy proto vyžadují vyšší teplotní hladiny (nad 80 °C) než solární soustavy pro přípravu teplé vody či vytápění a tomu odpovídající technické parametry solárních tepelných kolektorů. Na obr. 2 jsou uvedeny charakteristické křivky účinnosti solárních kolektorů: plochý selektivní solární kolektor (S) a trubkový vakuový kolektor (T) v závislosti na střední teplotě teplosnosné látky spolu s typickými provozními teplotami jednotlivých typů sorpčních cyklů. Z grafu je patrné, že pro adsorpční chladicí cykly s provozními teplotami nad 80 °C jsou vhodné především kvalitní trubkové vakuové kolektory s nízkou tepelnou ztrátou.

VÝROBNÍ AREÁL FIRMY INSTAPLAST, A. S.

Absorpční chladicí zařízení ve spolupráci se solárními kolektory slouží pro přípravu chladu k chlazení vnitřního prostředí administrativní budovy, ubytovny a výrobního provozu (hala) velkoplošným sálavým systémem IN-FRACLIMA (kapilární rohože).

Solární kolektory

Zdrojem tepla pro solární chlazení jsou vakuové trubkové kolektory se zrcadlem Kloben SP14 CPC Diffusion s přímým průtokem teplosnosné kapaliny a plochou apertury 2,2 m². Solární kolektory jsou umístěny na ploché střeše administrativní budovy firmy Instaplast, a. s. (viz obr. 3) ve dvou hlavních větvích, každá o 9 řadách se 2 nebo 3 kolektory vždy sériově zapojenými (celkem 45 ks, plocha apertury 99 m²). Jmenovitý výkon kolektorového pole při slunečním ozáření 1000 W/m², provozní teplotě 85 °C a venkovní teplotě 30 °C je cca 57 kW. Orientace polí solárních kolektorů je cca 10° na východ, rovnoběžně s okrajem střechy budovy. Rozvody potrubí jsou tepelně izolovány. Teplosnosnou kapalinou je nemrznoucí směs propylenglykolu a vody. Obě pole jsou svedena společným potrubím do místa napojení k venkovní adsorpční jednotce. Solární kolektory pracují v letním období jako výhradní zdroj tepla pro adsorpční jednotku. V zimním období jsou solární kolektory zapojeny přes výměník do vyrovnávacího zásobníku tepla a slouží pro vytápění administrativní budovy, ubytovny a výrobního provozu (schéma na obr. 4).

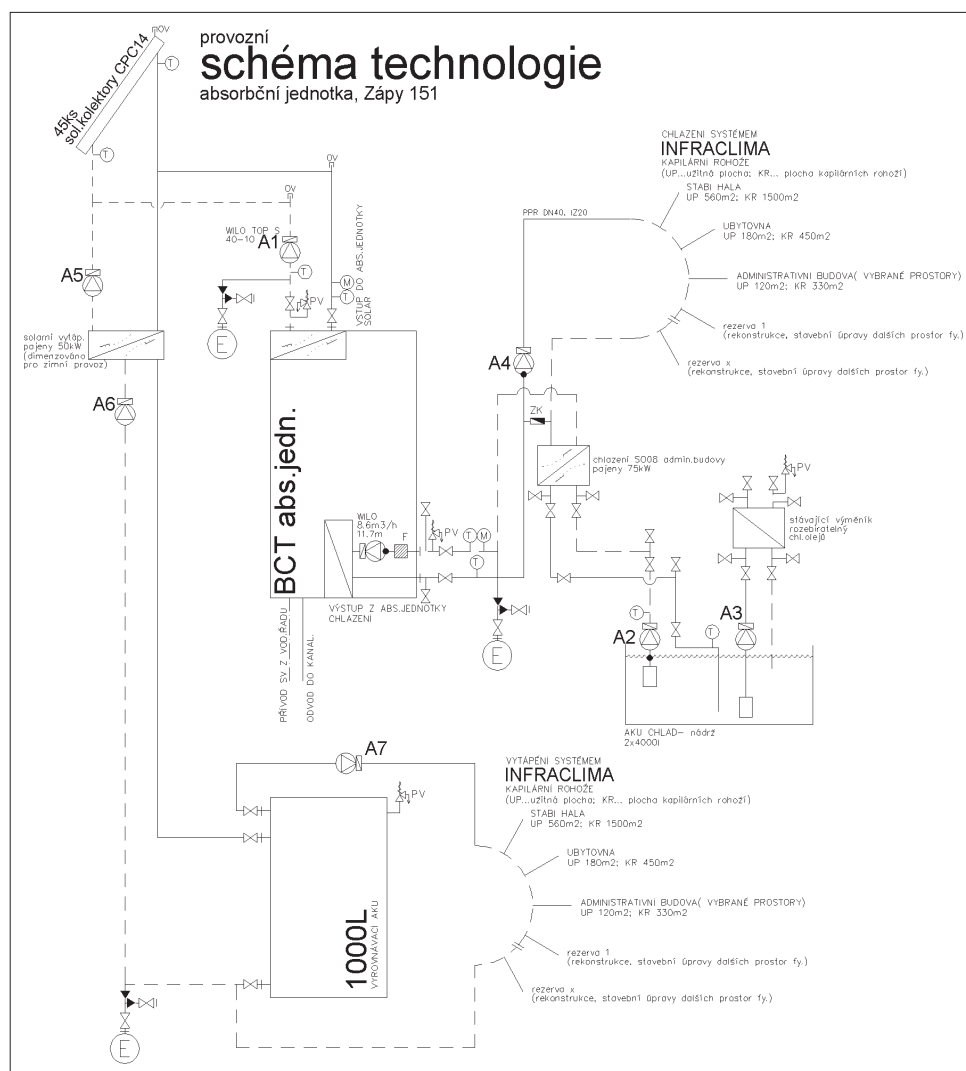
Absorpční jednotka

Kompaktní adsorpční chladicí jednotka Broad BCTDH70 je umístěna ve venkovním prostoru. Jmenovité parametry adsorpční jednotky jsou uvedeny v tab. 1.

Jmenovitý tepelný výkon pro provoz adsorpční jednotky je dodáván výhradně ze solárních kolektorů. Provozní podmínky na straně výstupu chla-



Obr. 3 Pole trubkových solárních kolektorů na střeše administrativní budovy a venkovní adsorpční chladicí jednotka v areálu firmy Instaplast, a. s.



Obr. 4 Schéma zapojení absorpční jednotky a solárních do okruhu chlazení/vytápění administrativní budovy, ubytovny a výrobního provozu v areálu firmy Instaplast, a. s.

Tab. 1 Parametry absorpční chladicí jednotky Broad BCTDH70

	Přívod tepla	Chlazení	Odpadní teplo
Příkon / výkon [kW]	62,5	45	107,5
Průtok [l/h]	5 370	8 600	kompakt
Teplotní spád [°C]	98 / 88	7 / 11,5	kompakt

zené vody z absorpční jednotky neodpovídají typickým hodnotám 6/12 °C, vzhledem k vysokým teplotám dostatečným pro chlazení velkoplošnými kapilárními rohožemi (systém INFRACLIMA) s teplotním spádem 22/23 °C. Chladicí výkon z výparníku absorpční jednotky je dodáván do akumulátorů chladu o objemu 2x4 m³, které slouží pro vyrovnání možného kolísání výkonu chlazení v závislosti na počasí a plynulému chodu absorpční jednotky. Odpadní teplo je z jednotky odváděno přes její vlastní integrovanou chladicí věž (sprchovaný výměník s ventilátorem pro odvod odpadního tepla, součást kompaktní jednotky).

HOTEL DUO V PRAZE

Hotel DUO v Praze – Proseku zajišťuje ubytování (přes 600 pokojů, 32 apartmánů, několik restauračních zařízení), využití volného času (bowling, bazén) pořádání kongresů, recepci. Absorpční chladicí jednotka slouží pro chlazení hotelových pokojů. Teplo pro pohon chladicí jednot-

ky může být zajištěno buď z horkovodního CZT nebo ze solárních vakuových kolektorů.

Solární kolektory

Zdrojem tepla pro solární chlazení jsou vakuové trubkové kolektory se zrcadlem GreenOneTec VK 180 (dodávané v ČR pod označením VSC25-10) s přímým průtokem teplotnosné kapaliny a s plochou apertury 1,6 m². Solární kolektory jsou umístěny na ploché střeše západní budovy hotelu ve dvou hlavních větvích o 11 a 14 řadách po zhruba 8 kolektorech sériově zapojených (celkem cca 280 ks, plocha apertury 448 m²). Jmenovitý výkon kolektorového pole při slunečním ozáření 1000 W/m², provozní teplotě 85 °C a venkovní teplotě 30 °C je cca 250 kW. Orientace polí solárních kolektorů je cca 30° na západ, rovnoběžně s hranou budovy pro dosažení vyššího počtu instalovaných kolektorů než při ideálně jižní orientaci při zachování přibližně stejných podmínek ozáření. Rozvody potrubí jsou tepelně izolovány, oplechovány proti atmosférické vlhkosti, oddilátovány (kompenzátory) a hydraulicky vyváženy. Teplotnosnou kapalinou je nemrznoucí směs propylenglykolu a vody. Obě pole jsou napojeny na kompaktní předávací výměňkové stanice a teplo je předáváno přes akumulací nádrže (8 x 1900 l) do primárního okruhu spotřeby (absorpční jednotka, příprava teplé vody).

Solární kolektory mohou pracovat v několika režimech. V letním režimu mohou sloužit jako zdroj tepla pro absorpční jednotku nebo pro přípravu teplé vody. V přechodovém a zimním období, kdy není potřeba chladit, slouží teplo z kolektorů pouze pro předehřev teplé vody.

Absorpční jednotka

Pro přípravu chladu pro chlazení hotelových pokojů slouží absorpční chladicí jednotka Carrier TSA-16LJ-21 o parametrech uvedených v tab. 2.

Tab. 2 Parametry absorpční chladicí jednotky Carrier TSA-16LJ-21

	Přívod tepla	Chlazení	Odpadní teplo
Příkon / výkon [kW]	819	564	1 356
Průtok [l/h]	58 700	80 900	194 400
Teplotní spád [°C]	90 / 78	6 / 12	33 / 27
Tlaková ztráta [kPa]	19	71	45

Tepelný výkon pro provoz jednotky může být dodáván částečně ze solárních kolektorů (cca 25 až 30 % jmenovitého výkonu) a částečně z CZT přes výměňkovou stanici, která je základním zdrojem tepla. Chladicí výkon 560 kW z výparníku absorpční jednotky je dodáván do akumulátorů chladu o objemu 4 m³ (nerezové nádrže), které slouží pro vyrovnání možného kolísání výkonu chlazení v závislosti na počasí, plynulému chodu absorpční jednotky a pro hydraulické oddělení okruhu zdroje chladu od chladicí soustavy. Chlazená voda 6 / 12 °C je využita pro větev chlazení pokojů fancoily. Odpadní teplo z jednotky (absorbér, kondenzátor) je využito pro

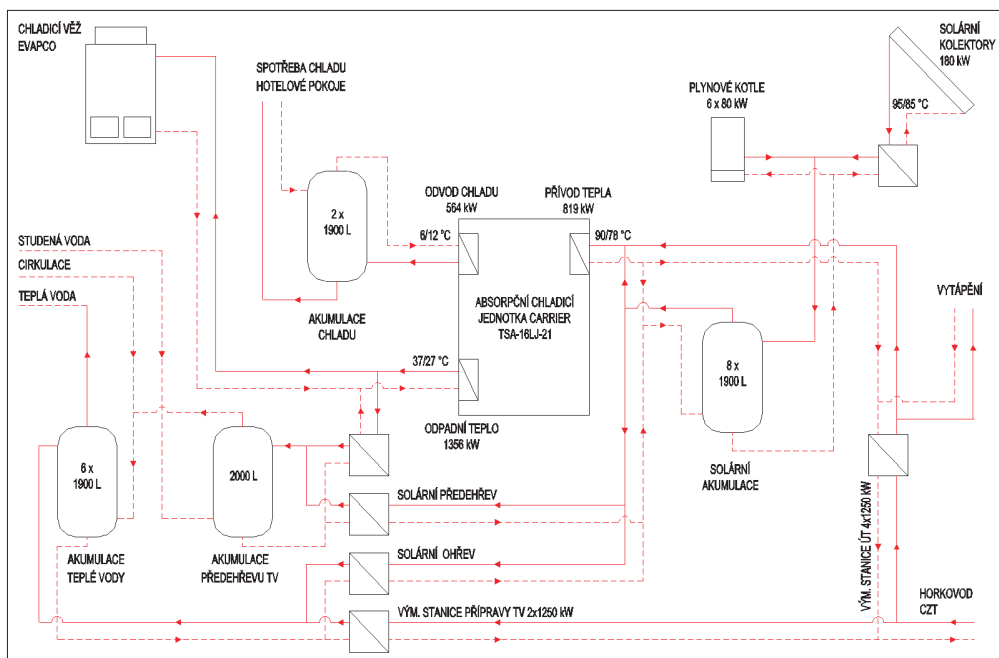


Obr. 5 Pole trubkových solárních kolektorů na střeše hotelu DUO a chladičí věž umístěná vedle budovy u parkoviště hotelu

předehřev teplé vody z 10 na 30 °C přes deskový výměník o výkonu 700 kW a zbylá část je odvedena do chladičí věže Evapco AT 18-711 (umístěná vedle budovy u parkoviště hotelu).

Ostatní technologie

Záložním zdrojem tepla pro případ 14denního odstavení CZT je plynová kotelna na střeše s kaskádou 6 závěsných kotlů Hoval 80 kW o celkovém výkonu 480 kW. Zdrojem tepla pro absorpční chladičí jednotku je výměnková stanice napojená na primární rozvod CZT (horkovod) v suterénu hotelu. Výměnková stanice CZT zároveň slouží pro vytápění hotelu v zimním období (4 výměníky á 1250 kW) a přípravu teplé vody (2 výměníky á 1250 kW) celoročně.



Obr. 6 Schéma zapojení absorpční jednotky a solárních kolektorů do systému zásobování teplem a chladem v hotelu DUO

ZÁVĚR

Solární chlazení a klimatizace udělaly v posledním desetiletí velký krok kupředu, z laboratorní výzkumných institucí do reálných instalací v komerční sféře. Ačkoliv je zkušenost se soustavami využívajícími sluneční energie pro chlazení zatím krátkodobá (pilotní a demonstrační projekty), vzhledem k nárůstu cen energií, k poruchám dodávky elektrické energie vlivem klimatizací způsobenému přetížení sítí v letním období a podpoře úspor elektrické energie se solární chlazení a klimatizace může stát atraktivní cestou do budoucnosti.

S konceptem využití sluneční energie pro pohon chladicích zařízení a jeho uplatnění v podmínkách střední Evropy jsme se zatím setkávali pouze v teoretických úvahách, zahraničních vývojových projektech a výzkumem dotovaných instalacích. Uvedené dvě čisté komerční pilotní instalace solárního chlazení na principu absorpčního cyklu v České republice ukazují na možnosti praktického využití. V příštích letech bude zajímavé sledovat energetické parametry těchto zařízení a skutečně dosahované úspory.

Tento příspěvek vznikl v rámci dlouhodobé spolupráce Ústavu techniky prostředí, FS ČVUT v Praze a firmy Instaplast, a.s. v oblasti výzkumu a vývoje využití sluneční energie.

Kontakt na autora: tomas.matuska@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Directive on the energy performance of buildings. COM/2002/91/EC.
- [2] SOLHEATCOOL – Study and Development of Heating / Cooling Systems Using Renewable Energy, (JOULE JOR3-CT97-0181), DG XII, E.C., (1998-2000).
- [3] IEA – Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings, TASK 25, Solar Heating and Cooling Programme, International Energy Agency, (1999-2004). (www.iea-shc-task25.org).
- [4] SACE – Solar Air Conditioning in Europe, (The Fifth Framework Programme NNE5-2001-00025), DG XVII, E.C., (2002-2003).
- [5] Webové stránky systému Infraclima firmy Instaplast, dostupné z <http://www.infraclima.cz>.
- [6] Štrunc, K.: Studie – Strojovna chlazení – věž „B“ hotelu DUO, Technická zpráva a výkresová dokumentace, únor 2007.