

doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí
 ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky efektivních
 budov

Problémy návrhu solární soustavy na konkrétním bytovém domě

Solar System Design Problems at a Particular Residential Building

Recenzent
 doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Příspěvek ukazuje na příkladu jedné konkrétní nepovedené realizace solární tepelné soustavy na bytovém domě v Praze chyby v návrhu (a následné realizaci), které nejsou ojedinělé. Nevhodná volba prvků s omezenou velikostí vedoucí ke snížené funkci a neefektivnímu provozu se nevyskytuje pouze u malých systémů smontovaných nezkušenými firmami, ale i u velkých systémů realizovaných v bytových domech zavedenými developery.

Klíčová slova: solární soustava, solární zásobník, výměník tepla

The paper shows, on the example of one particular badly done implementation of a solar thermal system at a residential building in Prague, faults in its design (and subsequent implementation), which are not unique. Improper selection of elements with limited size leading to reduced function and inefficient operation do not occur only in small systems assembled by inexperienced companies, but also in large systems implemented at residential buildings by well-established developers.

Keywords: solar system, solar storage tank, heat exchanger

ÚVOD

Se spuštěním podpory instalací solárních tepelných soustav pro bytové domy v rámci programu podpory úspor Zelená úsporám se významně zvedl zájem o jejich realizace, avšak zároveň po předčasném ukončení původního programu v roce 2010, především vinou nezvládnuté administrace programu, zůstaly právě solární tepelné soustavy v bytových domech segmentem, který zůstává zajímavým i při absenci finanční podpory. Se zpřísněním legislativních požadavků na budovy je v současnosti solární příprava teplé vody v bytovém domě jedním z možných způsobů posunu budovy z kategorie C do kategorie B v energetickém průkazu. Po několika letech rozvoje instalací solárních soustav na bytových domech se tak lze nyní ohlédnout zpět a ukázat na jednom konkrétním realizovaném systému „jak to nedělat“. Přestože je dnes v oblasti solárních tepelných soustav k dispozici celá řada článků [1, 2], podkladů, knih a příruček pro projektanty [3, 4], v rámci prezentované realizace se nahromadila většina principiálních chyb návrhu. Nejedná se pouze o nedostatky plynoucí ze snahy ušetřit na investičních nákladech, jako nejčastější příčiny nesprávně a neekonomicky pracujících solárních soustav, ale i o zanedbání základních bezpečnostních stránek návrhu.

POPIS REALIZACE

Uvažovaný bytový dům v Praze je rozdělen na tři sekce (vchody), viz obr. 1. Pro každou sekci byla realizována samostatná solární tepelná soustava pro přípravu teplé vody s nízkým návrhovým pokrytím a díky tomu s očekávatelnými vysokými přínosy a dobrou ekonomikou instalace. Pro zjednodušení se následující text věnuje pouze jedné sekci domu se 74 byty o celkové roční potřebě tepla na přípravu teplé vody 270 MWh/rok. Pro tuto sekci bylo instalováno 23 ks solárních kolektorů s celkovou plochou apertury 55 m². Pro solární soustavu byl instalován jeden solární zásobník s objemem 1500 l s teplosměnnou plochou vnitřních solárních trubkových výměníků 5,2 m². Dohřívací zásobník má objem 1590 l a je udržován na požadované teplotě teplé vody plynovými kotli. Maximální provozní přetlak obou zásobníků je podle výrobce 6 bar.

Mezi solárním a dohřívacím zásobníkem bylo doplněno přečerpávání tepla okruhem s oběhovým čerpadlem. Pro okruh solárních kolektorů

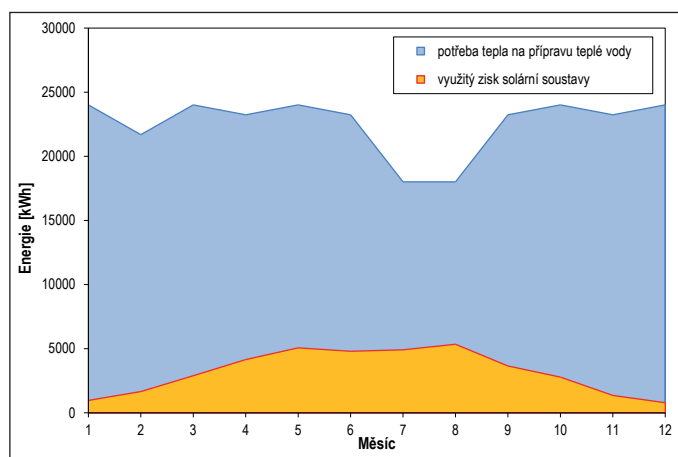
je instalována tlaková expanzní nádoba o objemu 50 l s předřazenou (ochrannou) nádobou o objemu 12 l.

Solární soustava dlouhodobě vykazuje provozní problémy, podobně jako ostatní soustavy na zbylých sekcích bytového domu, především z důvodu četné stagnace. Při ohledání byla zjištěna silně degradovaná nemrz-



Obr. 1 Bytový dům

Fig. 1 Residential building



Obr. 2 Energetická bilance solární soustavy

Fig. 2 Energy balance of the solar thermal system

noucí kapalina. Přestože kolektorové pole je navrženo velmi úsporně a návrhové solární pokrytí je v daném bytovém domě pouze 14 %, dostávají se kolektory často do stavu stagnace – vypařování teplotně kapalniny v kolektorech, omezení průtoku kapaliny a odvodu tepla. Četnou stagnaci způsobuje soubor níže uvedených chyb projektu.

KOLEKTOROVÉ POLE

Solární kolektory jsou umístěny na ploché střeše na konstrukcích po čtyřech kolektorech, s výjimkou jednoho souboru se třemi kolektory (viz obr. 3). Z provozních zkušeností vyplynulo, že dochází k výraznému kolísání tlaku v soustavě a stagnaci, což potvrdila i kontrola odběrem teplotně látky, silně degradované.

U bytových domů nedochází zpravidla k předimenzování kolektorové plochy vůči potřebě tepla, což je nejčastější důvod zvýšené četnosti stagnace. Pokrytí v uvažované realizaci je navíc velmi nízké. Jedním ze zásadních důvodů stagnace je chybně umístěné teplotní čidlo, které nereaguje pružně na stav kolektoru. Teplotní čidlo snímající teplotu kolektoru pro regulaci provozu oběhového čerpadla solárního systému je totiž umístěno mimo solární kolektor, dokonce **20 cm od výstupu z kolektoru, navíc jako příložné** k trubce (viz obr. 4). To má za následek výrazné zpoždění spínání čerpadla, přehřátí kolektorů nad nezbytnou míru pro sepnutí oběhového čerpadla a následný odvod tepla z kolektorů. S ohledem na velmi nízkou časovou konstantu plochých kolektorů v řádu minut, může dojít k lokálnímu varu v solárním kolektoru, aniž by regulace na náhlé zvýšení teploty zareagovala. Tím dochází k omezení průtoku a dalšímu rozvoji stagnačního stavu bez odběru tepla z kolektoru.



Obr. 3 Kolektorová pole solární soustavy na střeše bytového domu

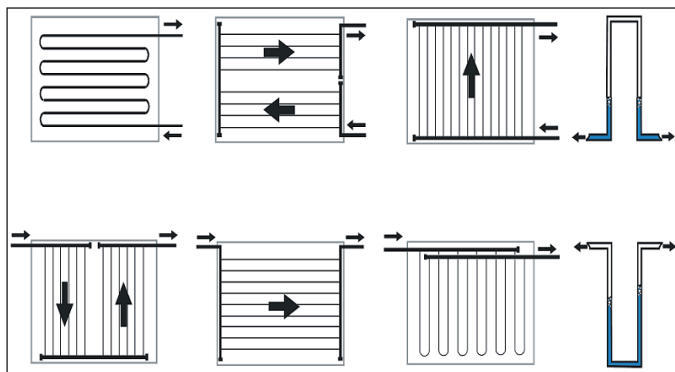
Fig. 3 Collector field of the solar system on the roof of the residential building



Obr. 4 Příložné umístění kolektorového čidla

Fig. 4 Strap placement of the collector sensor

Hydraulické zapojení kolektorů je typu U (dvojitá lyra s přerušenou horní rozvodnou trubkou) s přípojovacími body v horní části kolektoru (viz obr. 5 dole). Takové hydraulické zapojení je nejméně vhodné z pohledu chování při stagnaci. V případě varu kapaliny v kolektoru se v kolektoru vytvoří „kapsa“ kapaliny v jeho dolní části, která se nemá kam vytlačit, a celý objem kolektoru se tak musí proměnit v páru. To vede k vyšší degradaci kapaliny, nárůstu tlaku, tlakovým rázům apod. U zapojení s klasickou lyrou je kapalina vlivem zvýšení tlaku varem v kolektoru vypuzena dolním připojením mimo kolektor do objemu expanzní nádoby k tomuto účelu navrženému a v kolektoru je po dobu stagnace pouze přehřátá pára z nepatrného objemu odpařené kapaliny (viz obr. 5 nahoře). **Hydraulickému zapojení kolektorů typu U je u velkých systémů (s potenciálně velkou produkcí páry) vhodné se vyhnout.**



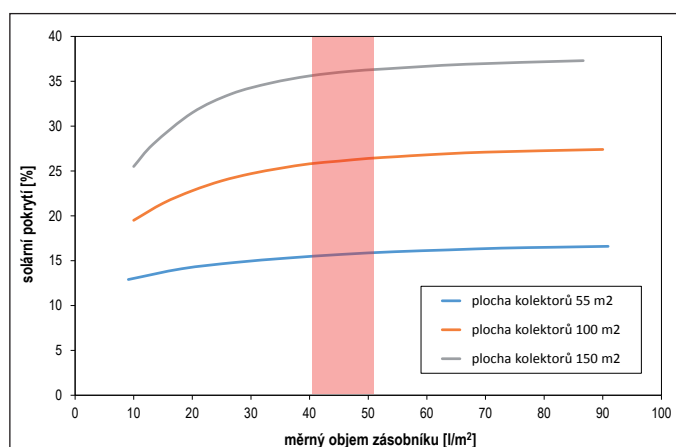
Obr. 5 Hydraulické řešení absorberu (nahore: volný dolní přípoj; dole: oba přípoje situovány v horní části absorberu)

Fig. 5 Hydraulic layout of the absorber (top: free low connection; bottom: both connections situated in the upper part of the absorber)

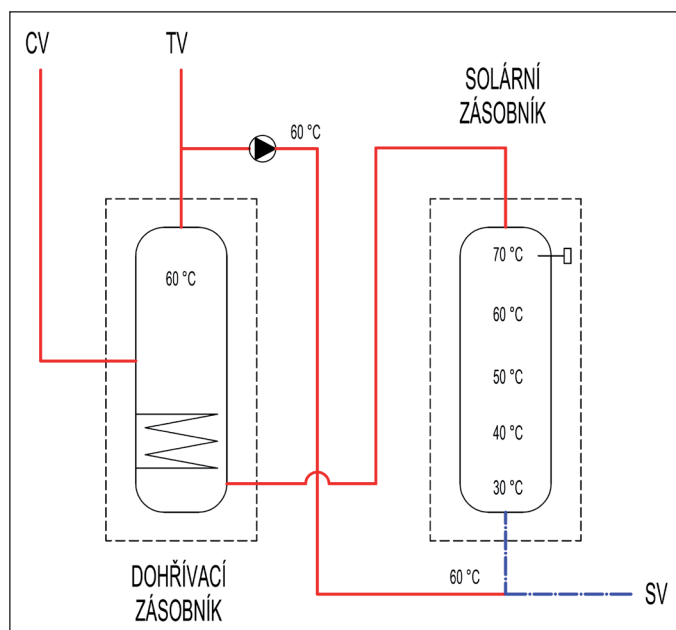
SOLÁRNÍ ZÁSOBNÍK

Pro solární soustavu byl navržen a instalován solární zásobník o objemu 1500 l. Doporučená velikost zásobníku, dlouhodobou praxí osvědčená, potvrzená teoretickými i praktickými analýzami [5], je okolo 50 l/m² kolektorové plochy. Pro realizované kolektorové pole o ploše 55 m² by objem solárního zásobníku měl být okolo 2800 l. Malá akumulční schopnost zásobníku znamená nižší využití energie slunečního záření, zvláště v případě převážně nárazového odběru během dne (večerní špička) běžným pro bytové domy. Nicméně, jak ukazuje graf na obr. 6, pro soustavu s nízkým návrhovým solárním pokrytím nemusí být pro snížení efektivity solární soustavy kritické ani měrné objemy okolo 40 l/m². Naopak objemy nad hodnotou 50 l/m² již výrazně nepřispívají ke zvýšení solárního pokrytí.

Projektantem bylo navrženo zvýšení akumulčního objemu přečerpáváním tepla mezi dohřívacím a solárním zásobníkem. Je však nutné



Obr. 6 Závislost solárního pokrytí u přípravy teplé vody v bytovém domě na měrném objemu solárního zásobníku pro různé dimenzování plochy kolektorů
Fig. 6 Dependence of the solar coverage for hot water preparation on the specific volume of the solar storage tank in the apartment building, for different sizings of the collector area



Obr. 7 Nevhodné zapojení přečerpávání tepla mezi solárním a dohřívacím zásobníkem

Fig. 7 Inappropriate connection of the heat overdraw between the solar storage tank and re-heating tank



Obr. 8 Trvalé tlakové poměry na zásobníku s max. přetlakem 6 bar a jeho jištění
Fig. 8 Permanent pressure ratios on the storage tank with max. overpressure 6 bar and its protection

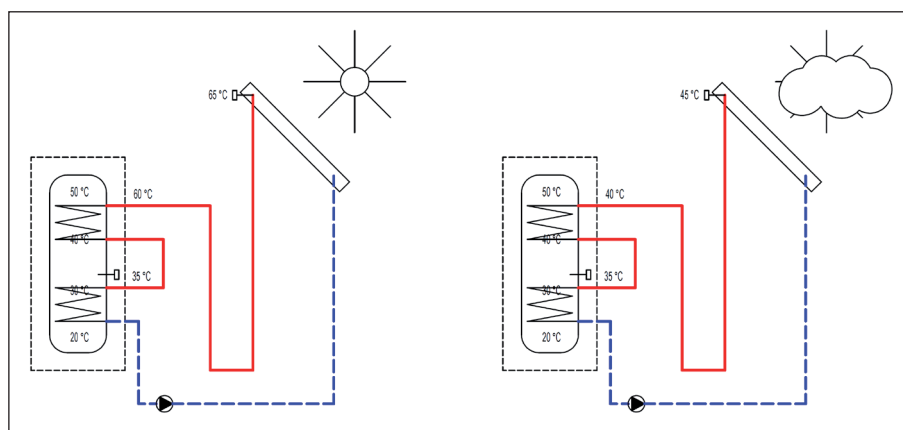
si uvědomit, že se nejedná o výrazné zvýšení akumulční schopnosti, rozhodně nelze uvažovat celý objem dohřívacího zásobníku jako ekvivalentní rozšíření akumulčního objemu. Dohřívací zásobník je trvale nabíjen záložním zdrojem na požadovanou teplotu 55 až 60 °C, a proto je jeho zbytková akumulční schopnost velmi nízká a v daném případě nedostačuje požadavku.

A není také ojedinělým případem, že přečerpávání je provedeno nevhodně propojením výstupu dohřívacího zásobníku do spodní části solárního zásobníku (viz obr. 7). Tím dochází k nahřívání spodní části solárního zásobníku teplem z plynových kotlů a tak ke snižování akumulční kapacity i vlastního solárního zásobníku. Čerpadlo je spouštěno na základě čidla teploty v horní části solárního zásobníku, která nevypovídá o teplotě v dolní části zásobníku.

Solární zásobníky mají na štítku uveden max. pracovní přetlak 6 bar. Pojistný ventil na přívodu studené vody do zásobníku má otevírací přetlak 8 bar. Na tlakoměru na vstupu vody do zásobníku je trvale tlak 7 bar, viz obr. 8. Pojistný ventil zde ztrácí pojistnou funkci a zásobník je dlouhodobě namáhán nadměrným tlakem a trvale hrozí nebezpečí jeho poškození.

VÝMĚNÍKY TEPLA

Účinnost solárních tepelných kolektorů významně závisí na provozní teplotě. Čím vyšší je provozní teplota, tím vyšší jsou tepelné ztráty kolektoru a nižší jeho efektivita a výkon. Proto je nezbytné pro efektivní provoz celé solární soustavy udržet v provozu teplotu na vstupu do so-



Obr. 9 Nevhodně zapojené vnitřní výměníky v solárním zásobníku

Fig. 9 Inappropriate connection of the internal heat exchanger in the solar storage tank

lárních kolektorů na nezbytně nutné nízké úrovni. To je možné zajistit dostatečně navrženým výměníkem tepla z hlediska jeho výkonu, resp. plochy. Bohužel se lze obecně v realizacích solárních soustav setkat s nedostatečným výkonem a efektivitou výměníků.

Na hodnoceném příkladu solární soustavy v bytovém domě lze ukázat případ špatné volby samotného druhu výměníku tepla. Namísto deskového výměníku byly zvoleny dva trubkové výměníky integrované v solárním zásobníku teplé vody (viz obr. 9) a zapojené do série. Trubkové výměníky integrované v zásobnících se vyznačují velmi nízkým součinitelem prostupu tepla z několika důvodů. Jednak na straně okruhu kolektorů je nemrznoucí směs s vysokou viskozitou a nízkým přestupem tepla i při nucené konvekci, na straně objemu zásobníku je naopak konvekce přirozená, vyvolaná pouze rozdílem tepla mezi povrchem výměníku a okolní kapalinou, a tedy také nízký přestup tepla. Z toho vyplývá, že celkový součinitel prostupu tepla se pohybuje na úrovni 100 až 200 W/m²K, jak potvrzují měření provedená na několika pracovištích [6, 7].

Trubkové výměníky použité v daném solárním zásobníku mají celkovou teplosměnnou plochu 5,2 m². Při uvažování běžných provozních podmínek: sluneční ozáření 800 W/m², venkovní teplota 20 °C, teplota v kolektorech 40 °C, teplota v zásobníku 20 °C je výkon kolektorového pole 31 kW, zatímco tepelný výkon výměníků je pouze 16 kW. **Použití trubkových výměníků tepla proto neumožňují přenést výkon do akumulačního objemu zásobníku.** To znamená vyšší provozní teploty teplosměnné kapaliny a pokles účinnosti solárních kolektorů. Při uvažované ploše solárních kolektorů musí být instalován výkonný deskový výměník tepla s návrhový logaritmickým teplotním rozdílem menším než 8 K.

Navíc výměník tepla bez ohledu na dimenzování jeho teplosměnné plochy vytvořený jednoduše spojením dvou trubkových výměníků umístěných nad sebou v zásobníku nepodporuje přirozené teplotní vrstvení v zásobníku, pokud není oběhovým čerpadlem řízen průtok podle teploty na výstupu ze solárních kolektorů. Přívod teplosměnné kapaliny během dne s různou teplotou z kolektorů (oběhové čerpadlo spínáno na základě rozdílu teplot mezi kolektorem a střední částí zásobníku) do výměníku tepla v horní části solárního zásobníku vede k degradaci teplotního vrstvení objemu (náznorný příklad viz obr. 9). Přestože oběhové čerpadlo sepne na základě rozdílu teplot, do výměníku horní nahřáté části zásobníku se dostává kapalina chladnější, než je v objemu zásobníku. Tím se snižuje využitelnost energie akumulované v solárních zásobnících během dne. Pro správnou funkci by měla být snímána teplota i v horní části zásobníku a podle ní řízeno přepínání přívodu tepla mezi horní a dolní částí zásobníku, případně by měl být vhodně navržený výměník instalován pouze v dolní části zásobníku.

EXPANZNÍ NÁDOBA

Za předpokladu 23 ks solárních kolektorů s objemem každého kolektoru 1,5 l a délky potrubí mezi strojovnou a kolektory cca 2 x 30 m (stoupací potrubí) a 2 x 20 m (rozvod na střeše) je celkový objem kolektorového okruhu cca 66 l (objem samotných kolektorů cca 35 l). Otevírací přetlak pojistného ventilu kolektorového okruhu je 600 kPa, hydrostatický tlak je cca 400 kPa. Za takových podmínek by **velikost expanzní nádoby navržená pro uvedenou solární soustavu se zohledněním stagnačních stavů a tvorby páry měla být 145 l** [3], nikoli instalovaných 50 l. Doplnění předřazené (zchlazovací) nádoby o objemu 12 l nezvyšuje expanzní objem. Jejím účelem je pouze chránit expanzní nádobu před vnikem páry při stagnaci (ochrana membrány).

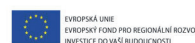
Kombinací malého objemu expanzní nádoby a solárních kolektorů s nevhodnou konfigurací trubkového registru (vysoká produkce syté páry) dochází k **výraznému nárůstu tlaku při stagnaci** a tlakovým rázům.

ZÁVĚR

Projektant a realizační firma se kromě uvedených chyb dopustila ještě dalších – méně významných, nicméně výmluvně dokreslujících danou instalaci. Přestože se jedná o celkově ojedinělou konstelaci vysokého počtu základních chyb návrhu, jednotlivě se s uvedenými chybami lze setkat i na řadě jiných instalací. Nejčastěji se jedná o malý objem zásobníků, poddimenzované výměníky tepla a nevhodné hydraulické zapojení soustavy, mnohdy komplikované a nepřinášející užitek. Důvodem je často počáteční cena instalace. Avšak koncová cena bývá u takových realizací daleko vyšší, ať už se jedná o zvýšené náklady na provoz bez dosažení úspor, o náklady spojené s řešením reklamací funkce soustavy, případně náklady na soudní výlohy, které v naprosté většině případů nakonec platí „odborná“ realizační firma jako dodavatel systému.

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

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za podpory Evropské unie, projektu OP VaVpI č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.



Použité zdroje:

- [1] NĚMEC, S. Praktické poznatky z provozu velkých solárních soustav a jejich monitoringů. *Vytápění, větrání, instalace*. 2013, č. 3, str. 112–117. ISSN 1210–1389.
- [2] GOTTAS, A. Navrhovanie solárnych termických systémov pre bytové domy. *Vytápění, větrání, instalace*. 2013, č. 4, str. 164–166. ISSN 1210–1389.
- [3] MATUŠKA, T. Sešit projektanta č. 1 – Solární tepelné soustavy. Společnost pro techniku prostředí, 2009. ISBN 978–80–02–02186–5.
- [4] REMMERS, K.H. *Velká solární zařízení*. Brno: ERA, 2007. ISBN 978–80–7366–110–6
- [5] MATUŠKA, T. Navrhování solárních zásobníků. *Alternativní energie*. 2012, č. 1, s. 9–11. ISSN 1212–1673.
- [6] KRAMOLIŠ, P., VRTEK, M. Laboratorní ověření součinitelů prostupu tepla „k“ tří druhů výměníků typu voda/voda v podmínkách potrubního okruhu solárního zařízení. *Topenářství instalace*. 2002, č. 3, str. 68–70. ISSN 1211–0906.
- [7] MATUŠKA, T., ŠOUREK, B. *Protokol o zkouškách akumulační nádoby PAST*. Praha 2008. Interní zpráva HS 40–08026 (Techtrans). ČVUT v Praze. ■