

Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.,
Ing. Bořivoj ŠOUREK,
Ing. Robert KRAINER,
Ing. Lucie PECHOVÁ
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí

Solární soustava pro 100% pokrytí potřeby tepla pro vytápění nízkoenergetického domu

Solar System Covering 100 % of Heating Energy Need of Low-Energy House

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek je věnován modelování sezónní akumulace sluneční energie do vody a do zemského polomasivu pro vytápění rodinného domu s nízkou spotřebou energie. Otopná soustava domu je extrémně nízkoteplotní a vybíjení akumulátoru je přirozené (exergetické) bez použití malého tepelného čerpadla, které by zmenšilo objem akumulátoru i plochu solárních kolektorů.

Klíčová slova: sluneční energie, solární kolektor, akumulátor tepla, nízkoteplotní otopná soustava, dům s nízkou spotřebou energie

The article deals with the modelling of a solar energy seasonal accumulation into water and semi-infinite ground mass, intended for the heating of a family house with low energy consumption. The heating system is an extremely low-temperature one and the accumulator discharging is natural (exergetic), without use of a small heat pump that would decrease the accumulator volume and the solar collectors surface.

Key words: solar energy, solar collector, heat accumulator, low-temperature heating system, house with low energy consumption

ÚVOD

Myšlenka pokrýt zcela potřebu tepla na vytápění obytných budov sluneční energií není nová. Texty o podobných pokusech a realizacích sahají až do roku 1939 (MIT Solar House I – V, návrh H. Hottel, [1, 2]). Nárůst experimentů se solárními domy nastal především v USA v polovině 70. let, tedy v době po 1. ropné krizi spojené s obratem pozornosti k nefosilním zdrojům energie. Mezinárodní energetická agentura v rámci programu Solární vytápění a chlazení (Solar Heating & Cooling Programme) se solárním domům věnovala v několika úkolech. V letech 1989-1994 se v rámci projektu „Pokročilé solární nízkoenergetické domy“ [3] odborné skupiny specialistů věnovaly možnostem využití sluneční energie v domech pro bydlení. V letech 1998-2002 byl řešen úkol „Solární kombinované soustavy“ [4], zabývající se solárními soustavami pro kombinované vytápění a přípravu teplé vody v obytných budovách, hodnocením jejich účinnosti a možnostmi maximalizace pokrytí potřeby tepla sluneční energií. V současné době probíhá řešení navazujícího úkolu „Pokročilé koncepty akumulace pro solární soustavy v nízkoenergetických domech“ [5], jehož základním cílem je vývoj pokročilých systémů akumulace tepla pro pokrytí potřeby tepla budov v mírném pásmu až do hodnoty 100 %. Nově vzniklá Evropská technologická platforma pro solární tepelnou techniku ve svém základním dokumentu z května 2006 [6] si vytknula za jeden z cílů do roku 2030 dům se

100% pokrytím potřeb tepla na vytápění a chlazení jako základní stavební standard pro nové budovy (Active Solar Building).

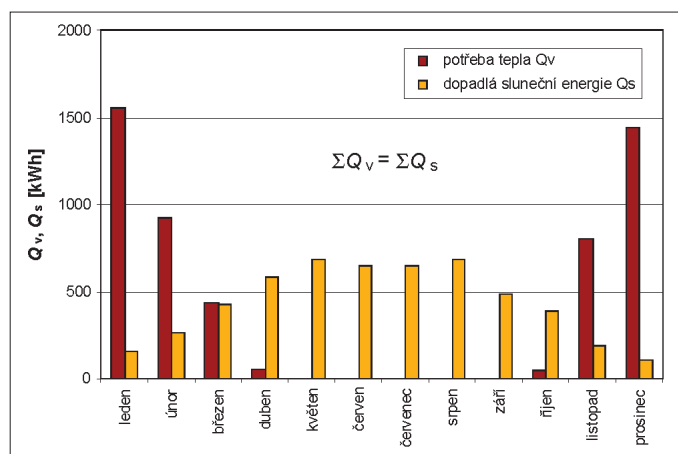
Základním problémem v klimatickém podnebí ČR je nedostatek slunečního záření v zimním otopném období a výrazný přísun v letním (viz obr. 1). Solární soustava tedy musí vyrovnat tento nesoulad a zajistit přenos solárních zisků z letního období do zimního. V zásadě takové řešení předpokládá velkoobjemový sezónní zásobník s akumulační látkou (nejčastěji voda). Z běžně uváděných výpočtů [7] vyplývá nutný objem akumulátorů řádově srovnatelný s objemem vytápěného domu. S nástupem cenově dostupných nízkoenergetických a energeticky pasivních domů a rozvojem nízkoteplotních otopných soustav znamenajících vyšší možnosti využití dlouhodobé akumulace tepla se obnovuje zájem investorů o totální pokrytí potřeby tepla na vytápění sluneční energií. Zásadní otázka zůstává stejná. Je to technicky možné? S jakými objemy akumulačního zásobníku a jakými plochami solárních kolektorů? A za jakou cenu?

1. ZKOUMANÝ NÍZKOENERGETICKÝ DŮM

Zkoumaným objektem pro využití sezónní akumulace tepla je experimentální nízkoenergetický dům v Zápech u Brandýsa nad Labem [8]. Dům slouží v současné době pro experimentální ověření provozních a mikroklimatických podmínek v interiéru při velkoplošném vytápění a chlazení. Dům má dvě nadzemní obytná podlaží. Střecha je pultová se sklonem 4°. Tepelné technické vlastnosti pláště budovy se pohybují v oblasti vyhláškou doporučených hodnot součinitelů prostupu tepla. Výrazně prosklená fasáda se zimní zahradou je orientována na jih. Celkový užitečný objem domu je 600 m³, celková užitečná plocha domu je 180 m².

1.1. Vytápění RD

Podlahová plocha vytápěné obytné části domu je 150 m². Vytápění objektu zajišťuje nízkoteplotní otopná soustava s velkoplošnými kapilárními rohožemi (sálavé vytápění). Kapilární rohože (polypropylen, ϕ 3,35 mm, rozteč 30 mm) jsou instalovány po celé ploše konstrukcí vnitřního obytného prostoru včetně podlahy a stropů. Velkoplošná kapilární soustava je využívána jak pro vytápění objektu v zimním období, tak i pro chlazení objektu v letním období. Vzhledem k velkým teplosměnným plochám kapilárních rohoží je sálavé vytápění/chlazení zajišťováno při teplotách otopné / chladičí vody blízkých teplotám vnitřního prostředí (21 až 24 °C). Výhodou je rov-



Obr. 1 Nesoulad mezi potřebou tepla na vytápění domu a dostupností sluneční energie během roku

noměrné vertikální rozložení teplot ve vnitřním prostoru, zajištění vysoké kvality tepelné pohody [9] a relativně rychlá regulace soustavy (kapiláry jsou instalovány v povrchové vrstvě konstrukcí). Nízká teplota teplosné látky umožňuje navíc zařazení obnovitelných zdrojů tepla a chladu s vysokou účinností.

1.2. Větrání RD

Dům je větrán mechanicky vzduchotechnickou větrací jednotkou s rekuperací tepla. V domě je zajištěna minimální intenzita větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$. Účinnost rekuperace je uvažována 75 %. Energeticky redukovaná výměna čerstvého vzduchu je $0,075 \text{ h}^{-1}$, při zahrnutí infiltrace je celková výpočtová výměna čerstvého vzduchu v domě $0,138 \text{ h}^{-1}$.

1.3. Tepelné charakteristiky RD

Měrná tepelná ztráta domu byla určena výpočtem a činí 146 W/K [10]. Jmenovitá tepelná ztráta pro výpočtové podmínky ($t_e = -12^\circ\text{C}$, $t_i = 20^\circ\text{C}$) je 4670 W . Pro účely dalších analýz byl vytvořen počítačový model rodinného domu v simulačním prostředí TRNSYS. Tepelná ztráta za stacionárních výpočtových podmínek byla stanovena na 4620 W (velmi dobrá shoda se stacionárním výpočtem dle normy, odchylka 1 %). Při zahrnutí stálých vnitřních tepelných zisků se hodnota potřebného jmenovitého příkonu otopné soustavy sníží na 4070 W . Roční potřeba tepla na vytápění Q_v stanovená počítačovou simulací pro klimatické podmínky typického meteorologického roku (TMY2) pro Prahu je 5260 kWh/rok , měrná potřeba tepla na vytápění je $35 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ (nízkoenergetický standard rodinného domu).

2. MODELOVÁNÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV SE SEZÓNÍ AKUMULACÍ

Solární soustava pro 100% pokrytí potřeby tepla na vytápění sluneční energií je modelována s různými typy sezónní akumulace v simulačním prostředí TRNSYS. Program TRNSYS umožňuje modelování tepelného chování budov a systémů s ohledem na jejich dynamiku v průběhu určitého časového období s definovaným (nejčastěji hodinovým) krokem výpočtu. Pro účely analýz byly modelovány dva základní typy akumulace: vodní zásobník (nadzemní, podzemní uložení) a akumulace tepla do zemského masivu suchými vrty s různou roztečí. Pro možnost porovnání obou typů byly použity shodné simulační modely zkoumaného domu, solární soustavy (kolektory), otopné soustavy a regulace.

Model budovy (type 56) byl vytvořen v podprogramu TRNBuild jako jednoduší s definovanými geometrickými a tepelně-technickými vlastnostmi konstrukcí a provozními parametry (požadovaná vnitřní teplota, větrání, vnitřní tepelné zisky, atd.). Modelování chování otopné soustavy je realizováno externím výpočtem (Excel) teploty otopné vody (ekvitermní regulace) na základě skutečné potřeby tepla a okamžité hodnoty venkovní teploty. Jmenovitý teplotní spád velkoplošné otopné soustavy je $25/22^\circ\text{C}$. Průtok otopnou soustavou je udržován konstantní $=1170 \text{ kg/h}$.

Ve všech modelech jsou použity stejné solární kolektory se spektrálně selektivním absorbérem. Solární kolektory jsou charakterizovány standardní kvadratickou rovnicí účinnosti

$$\eta = 0,786 - 4,3 \frac{t_{km} - t_e}{G} - 0,008 \frac{(t_{km} - t_e)^2}{G} \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

kde t_{km} [$^\circ\text{C}$] je střední teplota v kolektoru, t_e je venkovní teplota a G [W/m^2] je sluneční ozáření. Měrný průtok solárními kolektory je $= 0,02 \text{ kg/s.m}^2$ účinné plochy kolektorů.

Počítačovým modelováním solárních soustav se sezónní akumulací sluneční energie jsou sledovány potřebné návrhové parametry: objem akumulačního zásobníku V_a a příslušná potřebná plocha solárních kolektorů

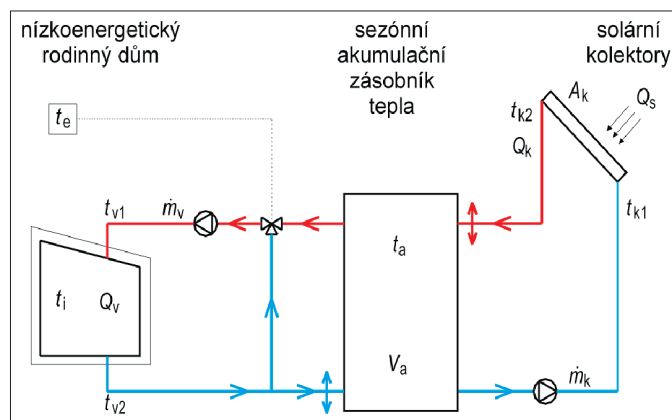
A_k pro 100% pokrytí potřeby tepla na vytápění (nikoliv příprava teplé vody). Vzhledem k dynamice soustavy je nutná doba trvání simulačního výpočtu dva roky. Pro vyhodnocení výsledků pro analýzu se uvažuje druhý rok. Potřebná plocha kolektorů se optimalizací stanoví ze dvou podmínek: 1. teplota otopné vody z akumulačního zásobníku do soustavy je v každém kroku simulace dostatečná, tzn. vyšší nebo rovna požadované teplotě otopné vody podle ekvitermní regulace; 2. průběhy teplot v zásobníku na sebe mezi jednotlivými roky navazují a v zásobníku se postupně nezvyšuje teplotní úroveň pro stejné po sobě jdoucí roky. Vyhodnocovány jsou dále tepelné zisky solárních kolektorů Q_k [kWh], dopadá sluneční energie Q_s [kWh], účinnost kolektorů η_k [-] a tepelná ztráta zásobníku Q_{za} [kWh]. Důležitým vyhodnocovaným parametrem je podíl tepelné ztráty akumulačního zásobníku vzhledem k potřebě tepla na vytápění domu

$$p_z = \frac{Q_{za}}{Q_v} \quad (2)$$

Parametr p_z [%] umožňuje náhled o kolik více je nutné dodat energie ze solárních kolektorů nad „čistou“ spotřebu tepla domu čili kolik energie se „spotřebuje“ na mezisezónní převedení sluneční energie její akumulací. Tepelné ztráty rozvodů solární soustavy nebyly v simulacích uvažovány.

2.1. Vodní akumulátor tepla

Vodní zásobník pro sezónní akumulaci sluneční energie byl uvažován ve tvaru kompaktního válce (výška zásobníku rovna průměru). Podíl plochy válce k objemu válce tak bude minimální a tím bude minimalizována tepelná ztráta akumulačního zásobníku. Tloušťka tepelné izolace sezónního vodního zásobníku je uvažována ve variantách tl. 0,5 m, resp. 1 m (součinitel prostupu 0,08 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, resp. 0,04 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$). Akumulační zásobník je modelován ve dvou variantách uložení (nadzemní, podzemní).



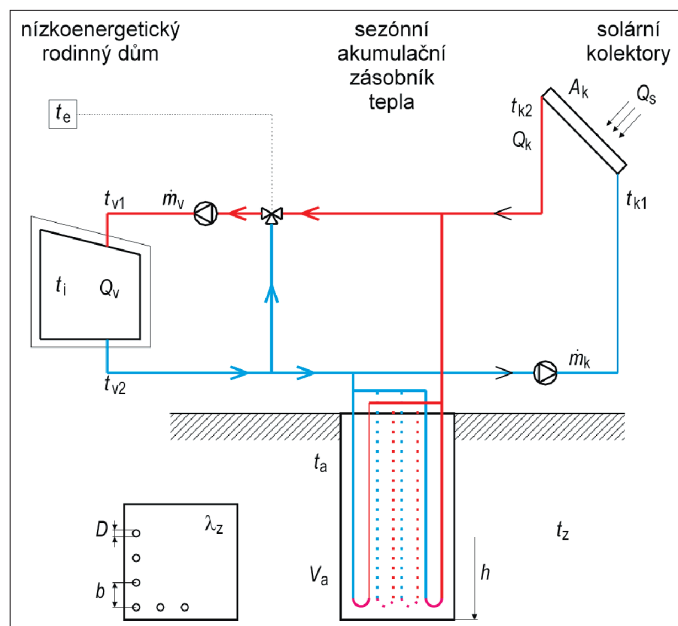
Obr. 2 Schéma zapojení solární soustavy s vodním akumulačním zásobníkem

Při modelování vodního akumulačního zásobníku je uvažována teplotní stratifikace (type 4a – model zásobníku s pohyblivým přívodem na primární a sekundární straně), kdy teplo z kolektorů a vracející se otopná voda z otopné soustavy se přivádějí do příslušné teplotní hladiny v zásobníku. V simulacích jsou objemy akumulačního zásobníku V_a uvažovány od 50 do 600 m^3 . Schéma modelu solární soustavy s vodním sezónním zásobníkem je uvedeno na obr. 2.

2.2. Akumulace tepla do zemních vrstů

Pro akumulaci tepla do zemského masivu jsou uvažovány zemní vrty obdobné suchým vrtnům pro využití geotermální energie pro tepelná čerpadla (průměr vrtnů $D = 200 \text{ mm}$, hloubka $h = 20 \text{ m}$). V každém vrtu je potrubní smyčka ve tvaru U z plastového potrubí o průměru $32 \times 3 \text{ mm}$.

Pro simulaci byl zvolen model pole zemních vrtnů (type 557, vertical U-tube ground heat exchanger). Pro analýzy byly zvoleny průměrné vlastnosti zeminy: součinitel tepelné vodivosti zeminy $\lambda_z = 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, měrná objemová tepelná kapacita zeminy $\rho \cdot c = 2000 \text{ kJ/m}^3\cdot\text{K}$. Nebylo počítáno s proudě-



Obr. 3 Schéma zapojení solární soustavy s akumulací do zemních vrtů

ním spodní vody. Ustálená teplota zeminy t_z byla uvažována $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplotní pole mezi ustálenou oblastí a zemním akumulátorem je v průběhu simulací počítáno použitým modelem.

Horní část akumulacního objemu je tepelně izolována (izolace tl. $0,5\text{ m}$, tepelná vodivost $0,05\text{ W/m.K}$).

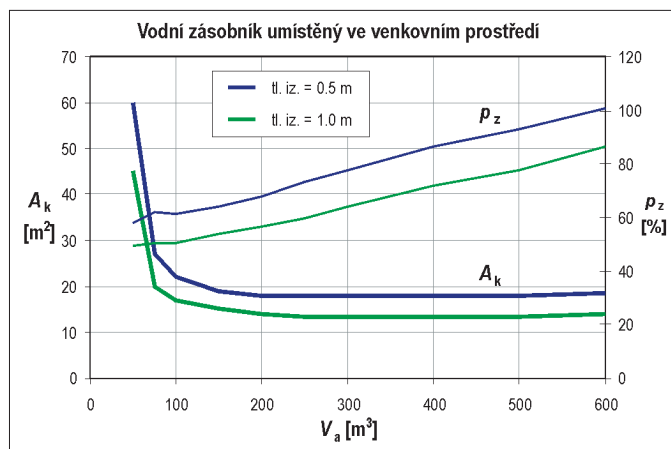
V analýze návrhových parametrů solární soustavy s akumulací do zemského masivu byl uvažován aktivní akumulacní objem zemského masivu V_a od 300 do 1400 m^3 , odpovídající počtu vrtů od 8 do 36 ks s uvažovanými variantami odstupu (rozteče) jednotlivých vrtů od sebe $b = 1,5\text{ m}$, resp. 2 m . Schema modelu solární soustavy s akumulací tepla do zemních vrtů je uvedeno na obr. 3.

3. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ SIMULACÍ

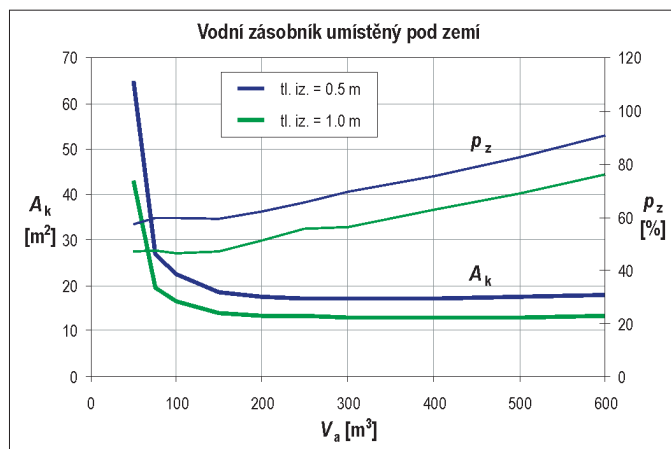
Výsledkem počítačových simulací je analýza vlivu návrhových parametrů (V_a , A_k) na provozní chování solární soustavy pro 100% pokrytí potřeby tepla domu na vytápění během roku. Graficky je vyhodnocována také závislost poměru tepelných ztrát k potřebě tepla domu p_z .

Z výsledků simulací vodního zásobníku uloženého ve venkovním prostředí (viz obr. 4) je vidět určité optimum z hlediska objemu akumulace $V_a = 200\text{ m}^3$, při kterém je potřebná plocha kolektorů $A_k = 13,5\text{ m}^2$. Pro objem akumulacního zásobníku menší než 200 m^3 teplota v zásobníku dosahuje během části roku maximální dovolené hodnoty $t_{\max} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (stagnace kolektorů) a část dostupné sluneční energie během roku je nutné mařit. Z průběhu poměru tepelných ztrát k potřebě tepla p_z zkoumaného domu je patrné, že s rostoucím objemem akumulacního zásobníku se tepelné ztráty zásobníku zvyšují vlivem zvyšujícího se povrchu zásobníku, přestože dochází k poklesu průměrné teploty vodní náplně v zásobníku. U optimálního objemu $V_a = 200\text{ m}^3$ se tepelné ztráty zásobníku pohybují okolo 55% z roční potřeby tepla domu, tzn. solární soustava musí dodat o cca 55% více tepla na krytí tepelných ztrát zásobníku. U předimenzovaného objemu zásobníku, odpovídajícího objemu domu (600 m^3) dosahují tepelné ztráty zásobníku až 90% resp. 100% v závislosti na tloušťce tepelné izolace.

Pro uložení vodního zásobníku v zemi (viz obr. 5) je situace obdobná. Optimální objem akumulace se pohybuje okolo $V_a = 200\text{ m}^3$ s plochou kolektorů $A_k = 12,5\text{ m}^2$. Poměr tepelné ztráty zásobníku k potřebě tepla domu je



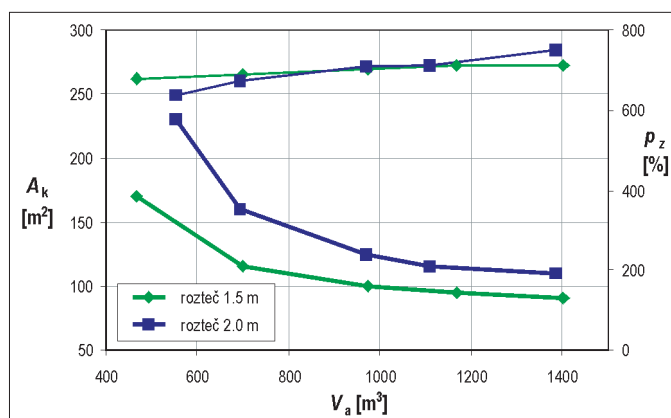
Obr. 4 Analýza návrhových parametrů solární soustavy s vodním sezónním zásobníkem (umístění ve venkovním prostředí, dvě varianty tloušťky tepelné izolace)



Obr. 5 Analýza návrhových parametrů solární soustavy s vodním sezónním zásobníkem (umístění pod zemí, dvě varianty tloušťky tepelné izolace)

50% . Nevýrazné snížení tepelných ztrát vlivem uložení v zemi je způsobeno skutečností, že tepelná ztráta akumulacního zásobníku v zimním období je sice nižší než u nadzemního uložení, nicméně v letním a zejména v přechodovém období, kdy vodní náplň zásobníku dosahuje maximálních teplot, je tepelná ztráta zásobníku vyšší (nižší okolní teplota zásobníku, $t_z = +10$ až $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Koncept akumulace tepla do zemského masivu suchými vrtů se potýká s velmi vysokými provozními tepelnými ztrátami. Ve všech zkoumaných případech se pohybují mezi 600 a 800% z potřeby tepla domu na vytápění a tomu odpovídají i výrazně vysoké potřebné plochy solárních kolektorů od 80 až do 250 m^2 , výrazně převyšující rozměrové možnosti domu pro je-



Obr. 6 Analýza návrhových parametrů solární soustavy s akumulací tepla do zemského masivu (dvě varianty rozteče zemních vrtů)

jich instalaci (max. 40 až 50 m² kolektorů na střeše zkoumaného objektu). Nalézt optimum v křivkách uvedených na obr. 6 je složité, tendence je monotónně klesající – čím nižší počet zemních vrtů v dané rozteči, tím vyšší potřebná plocha solárních kolektorů pro krytí potřeby tepla.

4. EKONOMIKA

Pro získání představy o ekonomických parametrech sezónní akumulace byly vybrány případy sezónní akumulace naceněny. U vodního zásobníku tepla byla uvažována varianta uložení v zemi s tloušťkou izolace 0,5 m. Nadzemní varianta uvažována nebyla, neboť nadzemní sezónní akumulátor o velkém objemu je problematické zakomponovat do stavby, případně působí v zástavbě rodinných domů jako „dům navíc“. V orientačním rozpočtu byly zohledněny výkopové práce (350 Kč/m³), odvoz a uskladnění zeminy (400 Kč/m³), betonáž nádrže (3150 Kč/m³), hydroizolace (280 Kč/m²) a tepelná izolace 0,5 m (480 Kč/m²). V případě sezónní akumulace do zemského masivu byly uvažovány zemní vrty o hloubce 20 m (stejně jako v simulaci) a měrná cena s vystrojením 1500 Kč/m vrtu. Náklady na solární soustavu byly stanoveny z běžné měrné ceny 15 tis. Kč/m².

V tabulce 1 je uvedeno porovnání variant vodního akumulátoru o různé velikosti vycházející ze simulačních výpočtů (uložení v zemi). Lze konstatovat, že cena technicky a ekonomicky příznivé varianty se pohybuje zhruba mezi 650 až 800 tis. Kč.

Tab. 1 Náklady na sezónní akumulaci s vodním zásobníkem uloženým v zemi

Položka	50 m ³	100 m ³	200 m ³	400 m ³	600 m ³
	65 m ²	22,5 m ²	17,5 m ²	17 m ²	18 m ²
Výkopové práce, vč. pažení	25 700	47 600	89 600	170 500	249 700
Odvoz a uskladnění zeminy	29 300	54 400	102 400	194 900	285 300
Betonáž nádrže (ŽB vč. bednění)	58 800	90 700	140 800	219 700	285 400
Hydroizolace	29 500	44 500	67 700	104 100	134 200
Tepelná izolace	50 500	76 200	116 100	178 300	229 900
Celkem zásobník tepla	193 800	313 400	516 600	867 500	1 184 500
Solární soustava	975 000	337 500	262 500	255 000	270 000
Celkem	1 362 600	650 900	779 100	1 122 500	1 454 500

Investiční náklady lze dále optimalizovat, např. uskladněním vybrané zeminy na vlastním pozemku, případně použitím neselektivních solárních kolektorů (levnější až o cca 50 %, nárůst plochy o cca 30 %). Celkové náklady ekonomicky optimalizovaného řešení solární soustavy se zásobníkem 100 m³ lze odhadnout na 500 tis. Kč.

Pro ekonomicky optimalizovanou variantu solární soustavy se sezónní akumulací z hlediska investičních nákladů byly stanoveny ekonomické parametry pro cenu energie 1,8 Kč/kWh (el. energie, nízký tarif 20 hodin) a roční spotřebu tepla domu na vytápění 5260 kWh/rok. Prostá doba návratnosti investice je 53 let. Diskontovaná doba návratnosti při uvažování současné (2006) diskontní sazby 1,5 % a tempa růstu cen energií 5 %, resp. 10 % činí 30 let, resp. 20 let. Reálné diskontované doby návratnosti se tedy pohybují v řádu životnosti solárních kolektorů (25 až 35 let). Investice tedy není nijak výdělečná, ale ani výrazně prodávající.

Tab. 2 Náklady na sezónní akumulaci do zemského masivu (rozteč vrtů 1,5 m)

Položka	12 vrtů	18 vrtů	25 vrtů	30 vrtů	35 vrtů
	170 m ²	115 m ²	100 m ²	95 m ²	90 m ²
Zemní vrty, hl. 20 m	360000	540000	750000	900000	1050000
Solární soustava	2550000	1725000	1500000	1425000	1350000
Celkem	2910000	2265000	2250000	2325000	2400000

V případě sezónní akumulace v zemském masivu s využitím zemních vrtů je situace z hlediska rozložení nákladů zcela odlišná. Zatímco u vodního akumulátoru představovala vlastní akumulace rozhodující část nákladů, u zemních vrtů představují rozhodující položku solární kolektory vzhledem k potřebné velké ploše. V tab. 2 jsou uvedeny varianty řešení pro rozteč zemních vrtů 1,5 m. Lze konstatovat, že cena optimální varianty se pohybuje okolo 2 300 tis. Kč. Prostá doba návratnosti se pohybuje okolo 250 let, diskontované doby návratnosti 65 let (5% růst cen energie), resp. 38 let (10% růst cen energie).

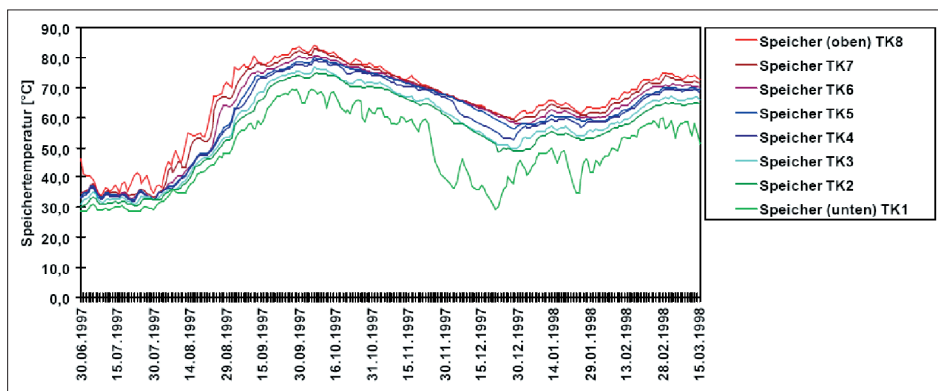
5. REALIZOVANÉ DOMY SE 100% SOLÁRNÍM VYTÁPĚNÍM V EVROPĚ

Skutečnost, že se solárními soustavami se 100% pokrytím potřeby tepla na vytápění se už neseťkáváme pouze v teoretických úvahách, dokládají praktické realizace nejen v oblasti rodinných domů, ale i více-bytových objektů.

Jednou z nejznámějších realizací je nízkoenergetický dům rodiny Nader (viz obr. 7) v LaBnitzhöhe ve Štýrsku (Rakousko). Výpočtová tepelná ztráta domu s vytápěnou podlahovou plochou 150 m² je 4,5 kW. Celková plocha solárních kolektorů 85 m² pracuje do vodního sezónního zásobníku tepla o objemu 75 m³, kde je dosahováno teplot až 100 °C. Otopnou sous-



Obr. 7 RD Nader (Nader Haus) se sezónním zásobníkem tepla



Obr. 8 Průběh teplot v sezónním zásobníku v RD Nader v sezóně 1997/1998



Obr. 9 Instalace zásobníku do centrální dispozice domu (RD Kappelrodeck)

tavu tvoří nízkoteplotní stěnové a podlahové vytápění (teplotní spád 35/30 °C). Akumulované teplo v zásobníku částečně pokrývá také potřebu tepla na přípravu teplé vody přes deskový výměník. Dům je v provozu od jara 1997. Na obr. 8 je uveden průběh teplot v zásobníku v první sezóně 1997/1998 [13].

Dalším příkladem, tentokrát z poslední doby, je nízkoenergetický rodinný dům v Kappelrodeck (Baden-Württemberg, Německo) dokončený v roce 2006 [14]. Dům je velmi dobře zateplený, hodnoty součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí se pohybují okolo 0,12 W/m².K. Výrazná prosklená plocha domu je opatřena kvalitním zasklením ($U = 0,75$ W/m².K). Vytápěná podlahová plocha domu je 147 m². Dům je vybaven mechanickým větráním s rekuperací tepla.

Sezónní akumulaci zajišťuje vodní zásobník tepla o objemu 43 m³ (průměr 3,3 m, výška 8,2 m), který je uložen ve středu dispozice domu (od sklepa po střechu, viz obr. 9). Celková plocha solárních kolektorů 112 m² (viz obr. 10) je instalována na střeše (96 m²) a částečně na zábradlí terasy (16 m²). Dům je vytápěn kombinací nízkoteplotního stěnového a podlahového vytápění. Kromě solární soustavy pro vytápění jsou instalovány také fotovoltaické panely o celkovém špičkovém výkonu 3 kW_p pro dodávku elektrické energie do domu v průběhu celého roku.

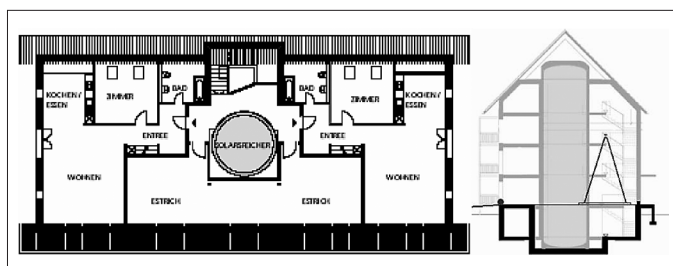
Sezónní akumulace solární energie pro potřeby vytápění není vhodná jen pro malé rodinné domy. Potvrzuje to výstavba solárního bytového domu s 8 bytovými jednotkami v Oberburg-Burgdorfu (Švýcarsko) z roku 2005 (viz obr. 11) [15]. Bytový dům je postaven v pokročilém nízkoenergetickém standardu ($U_{\text{oken}} = 0,5$ W/m².K). Byty jsou vybaveny nízkoteplotním podlahovým vytápěním a mechanickým větráním s rekuperací tepla.



Obr. 10 Solární kolektory na střeše a zábradlí terasy (RD Kappelrodeck)



Obr. 11 Solární bytový dům v Oberburg-Burgdorfu



Obr. 12 Umístění sezónního zásobníku v centrální dispozici bytového domu

Objem vodního sezónního zásobníku instalovaného v centrální části bytového domu je 210 m³ (viz obr. 12) a slouží pro vytápění a přípravu teplé vody (3 vestavěné zásobníky teplé vody o celkovém objemu 640 l). Na obr. 13 je zobrazen průběh instalace sezónního zásobníku. Solární kolektory pokrývají celou plochu střechy 276 m². Zajímavým ekonomickým aspektem je výše nadnákladů na instalaci solární soustavy pro 100% pokrytí tepla na vytápění (sezónní akumulace, solární kolektory, komponenty, montáž), které činily méně než 10 % celkových nákladů na výstavbu domu.

ZÁVĚR

Z analýz dvou tradičních možností sezónní akumulace tepla (vodní zásobník, zemský masiv) pro 100% pokrytí potřeby tepla na vytápění nízkoener-



Obr. 13 Instalace sezónního zásobníku pro bytový dům Oberburg-Burgdorfu

getického rodinného domu s nízkoteplotní otopnou soustavou vyplývá, že i přes velmi nízkou potřebu tepla a velmi nízké provozní teploty otopné vody v průběhu otopné sezóny jsou hlavním problémem využití sezónní akumulace její prostorové nároky. V případě zemních vrtů navíc vysoké tepelné ztráty a nízká akumulační schopnost vedou k velmi vysokým potřebným plochám solárních kolektorů, které přesahují prostorové možnosti instalace na střeše zkoumaného objektu (technicky nereálné) a souvisejícím ekonomickým parametřům přesahujícím životnost technologie i při optimistických podmínkách cen energií (ekonomicky nereálné). U sezónní akumulace s vodním zásobníkem je situace výrazně lepší. Z hlediska provozních a ekonomických parametrů se jeví jako optimální pro daný objekt použití sezónního akumulátoru o objemu 100 m³ s optimalizovanými investičními náklady 500 tis. Kč. Reálné doby návratnosti v ČR jsou v řádu životnosti solární soustavy (strojní technologie). Zkušenosti ze zahraničí ukazují, že v praxi se dává přednost menším objemům zásobníků integrovaných výhodně do dispozice domu (tepelná ztráta zásobníku v zimě přispívá k vytápění) a vyšším plochám kolektorů (prakticky celá jižní část střechy). Jak ukazuje příklad bytového domu ze Švýcarska, ekonomické parametry mohou být i přesto relativně výhodné.

Poděkování

Téma je řešeno na základě spolupráce Ústavu techniky prostředí ČVUT v Praze s firmou Instaplant, a.s. Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného projektu VaV-SN-3-173-05 „Integrace zařízení pro využití obnovitelných zdrojů energie do struktury budov“.

Použité zdroje:

- [1] Goswami, Y., Kreith, F., Kreider, J.F.: Principles of Solar Engineering. str. 227. 2nd edition. Taylor & Francis 2000. ISBN 1-56032-714-6.
- [2] M.I.T. Solar Houses, <http://web.mit.edu/solardecathlon/past-houses.html>
- [3] Solar Heating & Cooling Programme, Task 13 – Advanced Solar Low Energy Buildings, <http://www.iea-shc.org/>
- [4] Solar Heating & Cooling Programme, Task 26 – Solar Combisystems, <http://www.iea-shc.org/task26/index.html>
- [5] Solar Heating & Cooling Programme, Task 32– Advanced Storage concepts for solar and low energy buildings, <http://www.baseconsultants.com/IEA32/>
- [6] Vision 2030, European Solar Thermal Technology Platform, http://www.esttp.org/cms/upload/pdf/Solar_Thermal_Vision_2030_060530.pdf
- [7] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. Malina 1994.
- [8] Experimentální výzkumný RD, <http://www.nedum.cz>
- [9] Zmrhal, V.: Tepelné prostředí v prostoru s kapilárními rohožemi, Větrání, vytápění, instalace, 2007, roč. 16, č. 1, str. 37-41. ISSN 1210-1389.
- [10] Pechová, L.: Sezónní akumulace sluneční energie, Diplomová práce, ČVUT v Praze, 2007
- [11] Program TRNSYS, verze 16, University of Madison 2005
- [12] Sedlák, J. a kolektiv: Závěrečná zpráva řešení projektu VaV-SN-3-173-05 za rok 2006 a přílohy technologických listů instalací. Prosinec 2006.
- [13] Streicher, W., Koch, M., Fink, Ch.: Betriebsergebnisse der ersten Heizperiode des Nullheizenergiehauses Nader, <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien25.pdf>
- [14] Domovská stránka RD Kappelrodeck – Solarhaus Info: <http://www.solarhaus-info.de/>
- [15] Podklady firmy Jenni, <http://www.jenni.ch/>

* Oskar za životní prostředí

11. dubna 2007 byly v zasedací síni evropského parlamentu v Bruselu v rámci Energy Globe 2006 International předány výroční ceny za vynikající příspěvek k životnímu prostředí. Do Bruselu přišlo k této problematice na 700 projektů.

Tak např. v Indii byla vyvinuta jednoduchá metoda využití bioplynu z veřejných toalet. Rakouské firmy *M-Tec Mittermayr* a *Hauser* byly nominovány za řešení zimního vytápění a letního chlazení supermarketů, na základě kterého lze ušetřit až 100 procent nákladů na vytápění a 30 až 35 procent nákladů na chlazení. Kromě toho je zapotřebí asi o 30 procent méně chladiva. Za Německo byl oceněn projekt berlínské energetické agentury na úspory energie.

Termín podání příspěvků pro Energy Globe 2007 byl do 31. 7. 2007. Každá kategorie (vzduch, voda, úspora energie) je dotována cenou 10 000 Euro. Mezinárodní jury je řízena Manekou Gandhiovou, snachou Indiry Gandhiové.

* Nový veletrh chlazení v Norimberku

Na dny 15. – 17. října 2008 se připravuje nový odborný veletrh chlazení, vzduchotechniky a tepelných čerpadel Chillventa 2008 v Norimberku. Předpokládá se, že veletrhu se zúčastní 700 vystavovatelů a 25 tis. návštěvníků na 30 tis. m² výstavní plochy výstaviště NürnbergMesse a konání ve dvouletém cyklu.

V nomenklatuře veletrhu jsou obory: chladicí technika (kompresory, výměníky, chladiva aj.), klimatizační technika a větrací technika pro budovy a procesy, technologie tepelných čerpadel, měřicí, řídicí, regulační a automatizační technika, služby pro chlazení a klimatizaci. Garanty veletrhu jsou mj. BIV (Spolkový svaz německých výrobců chladicích zařízení), Odborný svaz všeobecné vzduchotechniky ve VDMA a ASERCOM (Association of European Refrigeration and Controls Manufacturers). Nejvýznamnější částí doprovodného programu bude ASERCOM Symposium, jehož hlavním tématem bude účinná, hospodárná a ekologicky šetrná výroba chladu a tepla.