

Mgr. Naděžda ŠTYSOVÁ¹⁾,
RNDr. Jan POKORNÝ^{1,2)}, CSc.
RNDr. Dalibor ŠTYS^{3,4)}, CSc.
Ing. Vladimír KUČERAVÝ⁵⁾

Hodnocení domovních solárních soustav

Evaluation of house solar systems

Recenzent
doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek uvádí přehled dostupných (publikovaných) poznatků o hodnocení účinnosti solárních zařízení pro ohřev vody v nám blízkých zeměpisných šířkách, a to jak na severní, tak na jižní polokouli. Je zaměřen na jednoduchá zařízení, která nejsou kombinována s jinými prvky (například s tepelnými čerpadly). S ohledem na systematické odlišnosti hodnocení v jednotlivých zemích je článek uspořádán geograficky.

Klíčová slova: sluneční energie, kolektor slunečního záření, solární zařízení, čistý energetický zisk, účinnost solárního zařízení

The article presents an overview of available (published) knowledge on evaluating water heating solar systems in latitudes similar to Czech Republic involving both north and south hemisphere. The paper is focused on simple equipment not combined with other elements (i.e. with heat pumps). The subject is geographically organized reflecting the systematic differences of evaluation in particular countries.

Key words: solar energy, solar radiation collector, solar equipment, net energy profit, solar equipment efficiency

V současné době se jak v rozvinutých, tak rozvojových zemích instaluje celá řada malých domovních zařízení pro ohřev vody slunečním zářením. Technologie těchto zařízení se postupně zlepšuje, největší počet měření jejich účinnosti však pochází z 80. let 20. století. Z pozdější doby je většina měření účinnosti zaměřena na velkoplošná zařízení jako jsou solární střechy nebo jiné instalace. V jinak bohaté odborné i vědecké literatuře o technologiích využití slunečního záření nelze nalézt práce hodnotící účinnost nových solárních kolektorů z hlediska potřeb malého soukromého uživatele.

Při studiu literatury jsme se setkali s několika způsoby hodnocení účinnosti kolektorů a solárních systémů. Kritéria nejsou sjednocena, takže jejich srovnání na základě literárních údajů je obtížné. V tab. 1 jsou shrnuty termíny, se kterými jsme se setkali při studiu literatury.

Tab. 1 – Použité termíny

(Measured) solar yield [kWh]	Solární zisk celého systému [kWh]	Celkový zisk energie solární soustavy
Collector yield [kWh/m ²]	Kolektorový zisk [kWh/m ²]	Zisk energie z jednotky plochy kolektoru
(Net) energy gain [kWh]	(Čistý) energetický zisk [kWh]	Celkový využitý zisk energie solární soustavy (po odečtení tepelných ztrát)
Solar system efficiency	Účinnost solárního systému	Poměr předané energie k přijaté energii během časového intervalu
Total efficiency	Celková účinnost (solárního systému)	Poměr využití energie k dopadající energii během časového intervalu
Averaged system's efficiency	Průměrná účinnost systému	Podíl půlroční bilance průměrného čistého energetického zisku a hodnot globální radiace vypočítané pro letní měsíce jako aritmetický průměr ze dvou let
Solar fraction	Solární podíl	Podíl využitého slunečního záření na celkové spotřebě energie pro ohřev vody

NĚMECKO

Klimaticky nám blízké je Německo, které je zároveň zemí, v níž proběhlo největší množství systematických měření. Již z konce 70. let existují měření ze šesti klimaticky odlišných míst, která měla demonstrovat užitečnost aplikací vy-

¹⁾ ENKI o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

²⁾ Ústav ekologie krajiny AV ČR, Dukelská 145, 379 01 Třeboň

³⁾ Ústav fyzikální biologie Jihočeské univerzity, Zámek 136, 373 33 Nové Hradky

⁴⁾ Ústav ekologie krajiny AV ČR, Zámek 136, 373 33 Nové Hradky

⁵⁾ ENVI, s.r.o., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

užívajících solární energii ve střední Evropě (1). Identické solární systémy pro ohřev vody byly instalovány v prefabrikovaných domech se sklonem střechy 38 a 48°. Odchylna solárních kolektorů od jižní orientace byla malá. Každý systém se skládal z pěti nekonztračních plochých kolektorů, každý s 1,11 m² kolektorové plochy, zakrytých jednoduchým sklem, s černým hliníkovým absorbérem v pevném hliníkovém rámu s polyuretanovou izolací na bocích a spodku. Ke každému systému příslušel zásobník na teplou vodu o objemu 380 l a výměník tepla.

Teplu získané z kolektorů se přenášelo směsí vody a ethylenglykolu (bod tání -40 °C) přes tepelný výměník do spodní části zásobníku (150 l objem). Horní část (230 l) jednotky byla udržována na 50 až 55 °C přes noc termostatem spínajícím topný systém. Čerpadlo udržovalo průtok na 200 l/h přes kolektory spojené paralelně tak dlouho, dokud existoval teplotní rozdíl alespoň 5 °C mezi absorbérem a výměníkem tepla.

Celková délka potrubí byla cca 20 m, pracovní tlak mezi 1,3 a 1,8 . 10⁵ Pa, střední teplota zásobníku 55 °C a denní tepelná ztráta zásobníku se pohybovala kolem 2 až 2,5 kWh. Každá instalace byla vybavena pyranometrem k měření globální radiace. Teplotní body byly měřeny odporovým teploměrem Pt-100 a zaznamenávány.

Solární soustava vyžadovala pouze minimální kontrolu a servis a byla zcela spolehlivá během celé testovací doby od jara 1976 do léta 1979.

Měření ukázala, že se za rok ušetří kolem 50 % konvenční energie pro přípravu teplé vody. Během letních měsíců se ušetří 75 až 80 % energie. Systém byl dobře navržen pro úspěšnou a dlouhodobou práci v různých klimatických zónách střední Evropy.

Tab. 2 – Průměrná účinnost systému (počítaná jako podíl půlroční bilance průměrného čistého energetického zisku a hodnot globální radiace vypočítané pro letní měsíce jako aritmetický průměr z let 1977 a 1978) a celkový energetický zisk

Místo	Průměrná účinnost systému	Celkový energetický zisk [kWh]	Podíl využití sluneční energie na celkové spotřebě energie pro TUV [%]
Wahlstedt	0,138	1 453	44,8
Lauenstein	0,145		
Büdingen	0,182	1 454	53,4
Walldorf	0,195	1 705	49,7
Neustadt	0,149	1 518	54,2
Rottal	0,148		

Na počátku 90. let byly rozvinuty technologie, umožňující využití velkých kolektorových ploch a první demonstrační zařízení se otestovala. Jednalo se o Ranensburg v roce 1992 a Neckarsulm v roce 1994. Solární systémy s centrálním zásobováním teplem (nebo blokové solární systémy) se skládají z centrální výtopny, rozvodné sítě potrubí a domovních předávacích stanic. Provozní zkušenosti ukázaly, že soustavy pracují spolehlivě a solární zisk se pohybuje mezi 350 až 400 kWh/m² za rok [8].

Německá vláda se zavázala v roce 2000 snížit emise CO₂ do ovzduší o 25 % do konce roku 2005 a tak se vrátit na úroveň v roce 1990 [2]. Domácnosti v Německu se podílejí na celkové spotřebě energie 30 % a představují jeden z největších segmentů, v němž je možno hledat úsporu energie. V posledních letech se rozvinuly nové koncepce pro zásobování domácností energií, a tím se snížila spotřeba fosilních paliv na vytápění o 50 %. Důležitou součástí těchto úsporných koncepcí je využívání solární energie se sezónní akumulací v ústředním vytápění. Touto problematikou se zabýval Institut termodynamiky a tepelného inženýrství (ITW) na Univerzitě ve Stuttgartu [5]. Zatím se realizovalo osm demonstračních výtopen se sezónní akumulací a čtyři centrální solární výtopny s krátkodobou akumulací. Systémy s krátkodobou akumulací se využívají hlavně pro zásobování teplem v rozsáhlých komplexech budov, nemocnic, ubytoven nebo k ústřednímu vytápění velkých sídlišť. Jsou navrhovány, aby zásobovaly teplou vodou z 80 až 100 % v červenci a srpnu a pokrývají ze 40 až 50 % požadavek na teplou vodu za rok. Čísla platí pro střední a severní Evropu.

Systémy s dlouhodobou akumulací zajišťují požadavky na teplo a teplou vodu z 50 a více procent na sídlišťích s více než 100 byty. Nesoulad mezi intenzitou slunečního záření a požadavky na teplo jsou kompenzovány sezónním zásobníkem tepla. Poskytují nejlepší poměr mezi cenou a ziskem ze všech solárních tepelných aplikací pro zásobování teplem v SRN.

První německé demonstrační výtopny se sezónním zásobníkem byly uvedeny do provozu na podzim roku 1996 v Hamburku pro 124 terasových domů (solární podíl 50 %) a ve Friedrichshafenu pro 586 bytů v osmi budovách (solární podíl 47 %). Byly postaveny podle podobného schématu. Teplo získané z kolektorů umístěných na střeše budov je transportováno do centrální výtopny solární sítě a přímo distribuováno do budov podle potřeby. Teplo získané v letním období je ukládáno v sezónním zásobníku pro využití na podzim a v zimě. Výtopny druhé generace se postavily v Hannoveru, Rostocku a Steinfurtu. Nejnovější výtopna byla postavena v Attenkirchenu. Třicet nízkoenergetických domů je zásobováno teplem ze solárního systému s kolektorovou plochou 800 m². Centrální betonový zásobník o objemu 500 m³ je obklopen 90 vrty hlubokými 30m. Do vrtů se pouští teplá voda a v chladném období se z nich teplo zase odebírá. [5, 2].

Další možností, jak využívat solární energii, jsou renovační projekty. V letech 1995 až 1998 se uskutečnilo 14 demonstračních projektů, většinou zaměřených na sídliště v Německu, Dánsku, Nizozemí, Švédsku a Švýcarsku [3]. Sluneční kolektory byly instalovány hlavně pro předehřátí teplé vody, případně na pokrytí části požadavků na vytápění. Při opravách střešních bytů se plochá střecha předělala na šikmou „solární střechu“, balkony se zasklívaly, čímž se redukovaly problémy s tepelnými mosty, na fasádu se přidávala transparentní izolace. Pokud se zlepšila izolace na obálce pláště budovy, požadavky na vytápění se redukovaly až o 50 %.

Namontované solární systémy byly centrální vodní, většinou s tlakovým kolektorovým okruhem. Holandské systémy byly „drain-back“ (kolektory se po vypnutí čerpadla samy vyprázdňují). Solární systémy vykazovaly roční zisky z kolektorů od 300 do 450 kWh/m², v závislosti na intenzitě slunečního záření a průměrné teplotě v kolektorovém okruhu. Použitím zrcadlové optiky, která usměrňuje dopadající záření na ploché kolektory, ve švédském Stockholmu téměř zdvojnásobili energetický zisk. Z hlediska ekonomiky byly systémy dimenzovány pro roční solární zisky do 40 %, protože kolektorový zisk je využitý ze 100 %, průměrné teploty jsou nízké, objem zásobníku a tepelné ztráty jsou nízké.

U demonstračních projektů byly dosaženy energetické úspory od 3 do 70 %.

Tab. 3 – Roční zisky solárních kolektorových systémů v kWh na m² kolektorové plochy

Místo	Kolektorový zisk [kWh/m ² rok]	Velké systémy Kolektorová plocha [m ²]
Oederan (Německo)	275	700
Zaandam (Nizozemí)	460	760
Henan (Švédsko)	310	725
Örebro (Švédsko)	380	112
Stockholm (Švédsko)	620	1200
		Malé systémy Kolektorová plocha [m ²]
Hedingen (Švýcarsko)	340	43
Freiburg (Německo)	360	7,5
Aalborg (Dánsko)	320	18
Den Haag (Nizozemí)	420	17

Dále se v Německu staví solární univerzitní kampus v Jülichu. Zatím stojí přednáškový sál s knihovnou, laboratoře a 23 domků pro 136 studentů. Domy jsou seřazeny v pěti řadách. Každá řada demonstruje jednu moderní technologii vedoucí k úspoře energie při vytápění a větrání. Počítá se i se solárním vytápěním se sezónním zásobníkem. Plocha 1 200 m² solárních kolektorů a objem zásobníku 2 500 m³ má pokrýt 50 až 60% požadavků na teplo [4].

DÁNSKO

Dánsko patří mezi západoevropské země s nejvyššími měrnými hodnotami emisí CO₂. Příčinou je velká spotřeba fosilních paliv. Proto Dánové kladou zvláštní důraz na využívání obnovitelných zdrojů energie.

Rozvoj solárních soustav v Dánsku nastal v 70. letech – po ropné krizi. Nejprve převládaly malé instalace na rodinných domech. V 80. letech pak představily první velkoplošná zařízení.

V 80. letech v Ballerupu u Kodaně umístili na jižní stranu střechy 156 m² integrovaných solárních kolektorů na částečné pokrytí požadavků na teplou vodu pro 150 bytů [6]. Na jeden byt připadalo přibližně 1 m² solárních kolektorů. Dva zásobníky na teplou vodu o objemu 3,2 m³ byly použity tak, že voda předehřátá sluneční energií přechází z prvního zásobníku do druhého, kde je na požadovanou teplotu dohřívána plynem. Cílem projektu bylo demonstrovat trvanlivost a estetičnost solárních kolektorů jako cenově efektivního solárního systému pro nově stavěné bytové domy.

Pro konstrukci solárních kolektorů byly použity dva rozdílné typy selektivních absorberů o stejné velikosti – švédský hliníkový a měděný absorber a dánský deskový absorber se systémem sběrných kanálků z nerez oceli.

Před realizací projektu proběhla počítačová simulace. Na jejím základě dospěli k závěru, že by bylo možné získat 33% roční solární podíl, což odpovídá solárnímu zisku 545 kWh/m² za rok. Uvažovalo se ohřátí vody z 12 na 50 °C.

Vzhledem k tomu, že ročně při úhlu 45° k jihu v Dánsku dopadá 1180 kWh/m² slunečního záření, mohli počítat s účinností systému 45 až 50 %.

Systém monitorovali od 1. srpna 1985 do 1. června 1986. Solární zisk za tento rok byl 83 676 kWh. To odpovídalo 468 kWh/m² solárních kolektorů za rok při účinnosti systému 40,4 %. Vzhledem k tomu, že intenzita slunečního záření v tomto období byla 4 % pod normálem a navíc se v květnu 1986 přidaly problémy se systémem, mohl být dosažen solární zisk až 526 kWh/m² za rok.

Při porovnávání kolektorů se švédským a dánským absorberem se dospělo k závěru, že dánský absorber je o 13 % účinnější.

Naměřená hodnota zisků ze sluneční energie v zásobníku byla 71 514 kWh, což znamená, že celkové ztráty 2x 50 m potrubí odpovídaly 12 162 kWh. To představovalo ztrátu energie o 50 % větší, než předpokládala kalkulace. Zřejmě byla způsobena únikem tepla neizolovanými čerpadly a ventily.

Spotřeba teplé vody byla během roku zcela stabilní – 20 m³ za den. Systém pracoval nadále bez problémů s doporučenou kontrolou nejméně jednou za rok.

Tab. 4 – Naměřené měsíční solární zisky a vypočtená účinnost systému (podíl naměřených hodnot měsíčních solárních zisků a hodnot solární radiace za měsíc)

		Solární zisk [kWh]	Účinnost systému [%]
1985	srpen	11 103	49
	září	6 672	44
	říjen	4 876	45
	listopad	1 291	20
	prosinec	1 005	29
1986	leden	1 005	19
	únor	3 387	33
	březen	3 596	34
	duben	7 214	41
	květen	8 384	36
	červen	11 406	44
	červenec	11 575	48
1 rok		71 514	40,4

Poslední dvě desetiletí věnují v Dánsku pozornost centrálnímu solárnímu vytápění. První centrální solární výtopna, byla postavena mezi lety 1983 a 1985 ve Western Nebelu v Esbjergu [7]. V roce 1988 postavili výtopnu v Saltunu a v roce 1989 v Ry. Využili přitom švédské poznatky a zkušenosti a aplikovali je na dánské poměry. Obě zařízení využívají solární kolektory založené na švédském designu. Kolektorový okruh je spojen přes deskový tepelný výměník přímo do distribuční sítě a nemá sezónní zásobník.

Pak následovalo několik dalších instalací. Největší pokrok znamenala solární podporovaná bloková výtopna v Marstalu – jedna z největších na světě. Výtopna se monitorovala od roku 1997. V zásadě je výtopna v Marstalu podobná jiným blokovým výtopnám s krátkodobou akumulací. Novinkou je aplikace proměnného průtoku (variable mass flow), vyžadující pokročilý systém regulace, a také připojení solární výtopny do přírodního potrubí místo do vratné větve centrálního zásobování teplem pro letní provoz. Systém je navržen tak, aby se předešlo vážným škodám v případě havárie. Čerpadla a výměníky jsou zdvojené a 150 kW dieselový motor je připraven zajistit fungování během výpadku elektřiny. Ploché kolektory (8064 m²) jsou uspořádány do 2 bloků s 32 paralelně spojenými řadami 10 kolektorů v sérii. Kolektory směřují k jihu pod úhlem 40°. Moduly mají betonovou základnu a jsou upevněny na ocelové konstrukci. Medium v kolektorech je směs vody a propylenglykolu 1 : 1.

Kolektorová plocha byla určena na základě předpokladu ročních zisků z kolektorů 400 kWh/m². Při solárním podílu 12 % vychází potřebná plocha na 8300 m². Kolektorové moduly mají 12,6 m² s délkou 6 m a výškou 2,3 m. Modul je kryt sklem o nízkém obsahu železa a skládá se z povrchově selektivního absorberu, vnitřní tenké teflonové fólie pro zabránění přenosu tepla konvekcí na zadní straně absorberu, izolace z minerální vlny a je umístěn do hliníkového rámu. Absorbér se skládá ze 16 pásků spojených paralelně a je vyroben z hliníku s vrstvou černého niklu.

16 m vysoký ocelový zásobník o objemu 2100 m³ má kapacitu přibližně trojnásobku denní spotřeby tepla. Je izolován vrstvou minerální vlny o tloušťce 300 mm a je chráněn před korozí.

Marstalská výtopna pracuje ve dvou rozdílných režimech: zimním a letním. V zimě doplňuje výtopnu na topné oleje a pouze přehřívá vodu. V létě se výtopna na topné oleje odstavuje, solární soustava pokrývá 100% spotřebu teplé vody a je zálohována malým olejovým hořákem.

V Dánsku se zabývají také problematikou sezónní akumulace ve spolupráci s vědci ze Švédska, Německa a Holandska [17].

RAKOUSKO

V roce 1978 nebyla na základě plebiscitu v Rakousku spuštěna jaderná elektrárna Zwentendorf a Rakousko se vydalo cestou podpor alternativních zdrojů energie.

Od roku 1976 bylo instalováno v Rakousku již více než 2 miliony m² kolektorových ploch. 60 % plochy se využívá k ohřevu vody a na podporu vytápění, 40 % k ohřevu bazénů [9].

Firmy jsou schopny připravit pro širší trh solární zařízení pro přípravu teplé vody ve vícebytových domech, pro vestavbu solárních kolektorů do topných systémů nízkoenergetických domů i solární systémy podporující centrální vytápění využívající biomasu.

V Rakousku je použití bioenergetických zdrojů (dřevěná polena, štěpka) pro vytápění prioritou, protože se tím zvyšuje využití domácích energetických zdrojů na jedné straně a snižují se emise CO₂ na druhé straně. O využití solární energie pro vytápění prostřednictvím sezónních tepelných zásobníků se v podstatě neuvažuje. Preferuje se kombinovaný systém solárního a biomasového vytápění, a to zejména na venkově a v menších sídlech.

VELKÁ BRITÁNIE

Vláda Velké Británie podporuje výzkum a rozvoj využívání sluneční energie od roku 1977. Nejdříve se využívaly pasivní solární prvky. Od roku 1984 se používají aktivní solární systémy pro ohřev vody a podporu vytápění [10]. Do roku 1992 bylo instalováno 45 000 systémů pro ohřev teplé vody a vyhřívání bazénů. Hlavním důvodem pro pomalé rozšiřování solárních systémů byla neinformovanost a nedůvěra veřejnosti k solárnímu vytápění.

Se solární podporou ústředního vytápění se počítá v budoucnosti, až klesne cena solárních systémů. Vysokoteplotní solární tepelné procesy pro generování elektřiny jsou ve Velké Británii vzhledem ke klimatu nepoužitelné.

NOVÝ ZÉLAND

Jednou z nejdůležitějších věcí, která zajímá potenciálního kupce solárního systému pro ohřev teplé vody, je velikost ročních úspor energie. Proto se na Novém Zélandu změřilo 25 systémů, připravených v konzultaci s různými skupinami uživatelů a reprezentantů firem [11]. Aby se dala zhodnotit funkce solárních systémů, porovnávala se jejich spotřeba elektrické energie s konvenčním systémem plně zásobeným elektrickou energií, dodávajícím stejné množství teplé vody. Rozdíl ve spotřebě elektřiny pak reprezentoval úsporu.

Průměrná tříčlenná rodina spotřebuje pro ohřev teplé vody 3985 kWh za rok. Testovalo se při 3 rozdílných teplotách (50, 60, 70 °C). Na testování bylo vybráno příznivé místo pro výstavbu domů s nezakrytým výhledem k severu (jižní polokoule) a západu a pouze velmi malým stíněním kopci z východu, s průměrným rozpětím venkovních teplot od 2 do 25 °C, průměrnou globální radiací 1414 kWh/m² za rok a průměrnou rychlostí větru 2,8 m/s. Budovy směřovaly k severu a byly zkonstruovány ze dřeva. Střecha z vlnitého plechu měla sklon 26°. Velikost kolektorové plochy se pohybovala v rozpětí od 1,47 do 4,39 m².

Systémy v průběhu jednoho roku vyzkoušely každou ze tří teplot v šestitýdenních intervalech. Při vysoké úrovni radiace některé systémy produkovaly vodu

o teplotě nad požadovanou úroveň. Tato energie navíc se pak přidala k úsporám.

Měření proběhla od března 1979 do března 1980 a od dubna 1980 do dubna 1981.

Hodnoty ročních úspor energie 25 testovaných systémů jsou v tab. 5.

Tab. 5 – Roční úspory energie testovaných systémů

Číslo systému	Kolektorová plocha [m ²]	Denní spotřeba vody [l]		
		205	160	130
		Úspora [kWh]		
1	4,27	2486	2077	1722
2	4,05	2417	2056	1688
3	4,39	2323	1961	1626
4	3,69	2284	2007	1632
5	4,00	2272	1879	1536
6	3,72	2178	1472	787
7	4,27	2151	1703	1421
8	2,97	2128	1743	1247
9	4,21	2115	1590	1134
10	3,71	1996	1496	1075
11	3,65	1913	1634	1286
12	3,93	1895	1585	1226
13	3,32	1846	1425	863
14	3,08	1840	1452	1060
15	3,86	1829	1505	1214
16	2,76	1789	1504	1206
17	4,25	1731	1437	1167
18	3,76	1700	1281	776
19	3,41	1635	1283	864
20	3,47	1534	1087	294
21	2,70	1469	1164	941
22	2,09	1298	934	508
23	3,10	1237	919	609
24	3,13	1198	940	683
25	1,47	783	524	250

Testování jiné solární instalace proběhlo v městě Christchurch. Testovaný dům byl dvoupatrový, s balkonem v prvním patře na severně položené zdi [12]. Zde byly umístěny tři solární ploché kolektory s celkovou plochou 2,25 m². Byly nakloněny 40° horizontálně a obráceny 11° k severozápadu. Zásobník na teplo vodu o objemu 273 l byl uložen v nejvyšším bodě v podkroví, ve vzdálenosti 10 m od panelů. Byl izolován 50 mm silnou vrstvou kuličkového polystyrénu. Méděně potrubí bylo izolováno vrstvou skelné vaty s tloušťkou 12 mm.

To se v průběhu testů ukázalo jako nedostatečné, a proto byla přidána dodatečná izolace na redukci tepelných ztrát.

Na počátku měření byl dům obýván dvěma dospělými a jedním dítětem, v průběhu pokusu se počet obyvatel měnil. Nakonec zde bydlelo 5 dospělých, pro které byla plocha panelů nedostačující. Měřeno bylo od konce prosince 1977 do poloviny května 1979. Průměrné denní dopadající množství slunečního záření bylo 5,03 kWh/m² v listopadu a 4,97 kWh/m² v březnu 1978. Při srovnání se standardními hodnotami to znamenalo 15 % pod a 4 % nad normálem.

Vzhledem k tomu, že spotřeba teplé vody v tomto domě byla vysoká ráno, není použití solárního ohřevu vody optimální. Výkon systému nebyl tak vysoký, jak by měl být.

Tab. 6 – Průměrná denní účinnost systému ve třech testovacích obdobích (účinnost je počítána jako podíl dodané sluneční energie a solární radiace)

Datum	Účinnost systému [%]	Solární podíl
3. března – 15. března 1978	27	0,39
8. února – 14. února 1979 a 16. února – 21. února 1979	28	0,28
19. dubna – 3. května 1979	22	0,12

ŠVÉDSKO

Solární tepelné soustavy ve Švédsku slouží hlavně k ohřevu teplé vody v rodinných domech a ohřevu vody v plaveckých bazénech [13]. Rozvoj solárních kolektorů sleduje dvě linie. V první se využívají prefabrikované moduly s kolektory o ploše 12 až 50 m², které se stavějí na zem a malé střešní kolektory s plochou 2 až 4 m². Druhá linie zahrnuje vestavěné střešní solární kolektory. Ve Švédsku najdeme asi 20 menších nových obytných oblastí, kde tyto kolektory pokrývají též část požadavků na vytápění.

Na začátku 80. let se ve Švédsku objevily první demonstrační výtopy s dlouhodobým tepelným zásobníkem v Ingelstadu, Lambohovu, Kungsbacke, Kullaviku a Lyckebo. Získané zkušenosti vyústily do nového designu kolektorů a vytvořila se síť expertů.

V Kungälvu v roce 2000 začala pracovat solárně podporovaná výtopy s kolektory (10 000 m²) upevněnými na zemi a s reflektory mezi kolektorovými řadami. Toto vylepšení zvýšilo účinnost kolektorů a vedlo ke zmenšení nezbytné kolektorové plochy [15]. Solární zisk se pohybuje kolem 450 kWh/m². Podobná výtopy, ale se sezónní akumulací, byla postavena v Ekerö, s kolektorovou plochou 8040 m² a zásobníkem o objemu 25 000 m³. Solární podíl na ohřevu vody činí 75 %, solární zisk se pohybuje okolo 396 kWh/m².

V projektu v Linköpingu zase využili nově vyvinuté střešní moduly, které už byly otestovány na malých projektech (Onsala) a které kombinují střešní konstrukci a solární kolektory (solární střeška). Plocha kolektorů činí 2500 m², objem sezónního zásobníku je 15 000 m³, solární zisk je 274 kWh/m².

V Annebergu se má stavět výtopy, která se zařadí mezi 10 největších v Evropě. Bude se jednat o 90 rodinných domů s obytnou plochou 100 m². Navrhovaný systém se má skládat ze 3000 m² solárních kolektorů, což představuje solární zisk 400 kWh/m² za rok, skalního zásobníku o objemu 60 000 m³ a 99 vrtů [2].

Tab. 7 – Přehled nejnovějších solárních výtopen ve Švédsku

	Kolektorová plocha [m ²]	Zásobník [m ³]	Energetický zisk [kWh/m ²]	Solární podíl [%]
Blokové výtopy Ekerö	8 040 s reflektory	25 000	396	75
Linköping	2 500	15 000	274	70
Centrální výtopy Kungälv	10 000 s reflektory	bez zásobníku	450	5

NIZOZEMÍ

V Nizozemí se nejvíce používá systém „drain-back“ (kolektory se po vypnutí čerpadla samy vyprázdňují). Je to proto, že v počátcích rozvoje využívání solární energie bylo zakázáno přidávat do kolektorového okruhu aditiva z důvodu ne-

bezpečí kontaminace pitné vody v případě havárie výměníku. Do konce roku 1998 bylo v Nizozemí instalováno 35 000 těchto systémů [14].

V 90. letech se podobně jako v dalších zemích začaly využívat velkoplošné solární systémy i zde. V letech 1995 a 1996 se realizoval solární projekt v Lisse pro zemědělské účely (sušení a uchovávání plodin). Kolektory o ploše 1200 m² byly umístěny na střechách budov, vodní zásobník o objemu 1000 m³ pod zem.

V letech 1996 a 1997 byl realizován další projekt v Bredě. Jednalo se o solární vytápění dodávající teplo do továrny na cukrovinky. 288 kolektorů (2400 m²) bylo umístěno na plochu střechu ve 24 řadách.

V Zwammerdamu bylo nainstalováno 6600 m² kolektorů, které slouží k ohřevu teplé vody a na podporu vytápění v obytné zóně. Jedná se o blokové solární vytápění se sezónním zásobníkem o objemu 120 000 m³ [2]. Solární zisk činí 380 kWh/m², solární podíl na ohřevu vody je 35 %.

Projekt blokového solárního vytápění bez sezónní akumulace se realizoval v Nieuwegenu pro 144 byty v obytných domech. Kolektorová plocha činí 120 m². Solární zisk obnáší 434 kWh/m², solární podíl na ohřevu vody je 24 %.

Tab. 8 – Přehled nejnovějších solárních vytopen v Nizozemí

Blokové vytápění	Kolektorová plocha [m ²]	Zásobník [m ³]	Energetický zisk [kWh/m ²]	Solární podíl [%]
Zwammerdam	6 600	120 000	380	35
Nieuwegen	120	6	434	24

SHRNUTÍ

Největší počet měření účinnosti malých solárních zařízení pochází z 80. let 20. století. V Německu se měřilo na šesti klimaticky odlišných místech. Měřeno bylo pěti plošnými kolektory. Plocha každého kolektoru činila 1,11 m². Celkový energetický zisk (z plochy 5,55 m²) se pohyboval od 1453 kWh (44,8 %) do 1705 kWh (49,7 %).

Účinnost systému definovali jako poměr

$$\eta = \Delta E_n / \Delta I$$

ΔE_n – denní absolutní hodnoty (týdenních průměrů) čistých energetických zisků [kWh]

ΔI – celková globální radiace [kWh]

ΔE_n se počítá $[\Delta Q - \Delta H - \Delta P] \cdot 100$

ΔQ – spotřeba energie [kWh]

ΔH – elektrická energie potřebná na vytápění [kWh]

ΔP – elektrická energie spotřebovaná čerpadlem [kWh]

Nakonec byla ale určena účinnost pouze z hodnot pro teplejší polovinu roku. Systémy pracovaly s průměrnou účinností 15,9 % [1]. Kolektory tehdy ještě nebyly tak účinné.

V 90. letech se sluneční kolektory využívaly zejména v renovačních projektech. Ve Freiburgu (Německo) bylo instalováno 7,5 m² kolektorové plochy. Kolektorový zisk se pohyboval kolem 360 kWh/m² za rok.

V Aalborgu (Dánsko) dosáhli kolektorového zisku 320 kWh/m² za rok s 18 m² slunečních kolektorů [3].

Od dubna 1985 do dubna 1986 se monitoroval solární systém (156 m²) v Ballestrupu v Dánsku. Na jeden byt připadal zhruba 1 m² solárních kolektorů. Bylo dosaženo solárního zisku 83 676 kWh za rok. To odpovídá zisku 468 kWh/m² ze solárních kolektorů. Systém pracoval s průměrnou účinností 40,4 %.

Účinnost solárního systému počítali jako podíl:

Naměřený solární zisk / solární radiace.

V zásobníku naměřili hodnotu 71 514 kWh, z čehož vyplývá, že tepelné ztráty potrubí a zásobníku byly značné (12 162 kWh) [6].

Na Novém Zélandu otestovali od března 1979 do března 1980 a od dubna 1980 do dubna 1981 celkem 25 solárních systémů s kolektorovou plochou od 1,47 m² do 4,39 m². Získali roční hodnoty úspor energie ve srovnání se systémy ohřívajícími vodu bez použití solárních kolektorů [11] ve výši od 250 do cca 500 kWh/m² za rok.

V Christchurchi na Novém Zélandu zjišťovali účinnost solárního systému se třemi kolektory s celkovou plochou 2,25 m² od prosince 1977 do poloviny května 1979. Účinnost vypočítali jako podíl zvýšení energie ve vodě protékající kolektorem v 1/2 hodinových intervalech a sluneční radiace dopadající na panely v téže době. Účinnost systému se pohybovala od 22 do 28 % [12].

V Nizozemí v Den Haagu nainstalovali 17 m² kolektorů v rámci renovačního projektu. Dosáhli kolektorového zisku 420 kWh/m² za rok [3].)

Vzájemné porovnání výsledků jednotlivých prací je obtížné vzhledem k různým metodice hodnocení. Proto by každý uživatel, pokud by chtěl výsledky využít ve vlastních instalacích, měl nahlédnout do původní literatury. Jediným společným závěrem je, že energetický zisk, tedy množství energie, kterou je možné v průběhu roku ušetřit, dosáhneme-li maximálního zásobení sluneční energií, jenž odpovídá požadavkům spotřebitele, je v našich klimatických podmínkách nad 40 %. Toho je dosahováno za různých technických podmínek. Již od poloviny 70 let existují jednoduché nízkonákladové kolektory, které ovšem zabírají velkou plochu a významně zasahují do architektury. V současné době se využívají též velmi účinné kolektorové systémy navržené i pro malé uživatele.

Pro malé uživatele schází větší počet měření konkrétních zařízení, které by zohledňovaly různé a měnící se životní styl uživatelů, například měnící se nároky na spotřebu vody v průběhu dne, měnící se počet obyvatel domu, instalace různých zařízení spotřebovávajících teplou vodu a podobně. Z tohoto hlediska jsme našli pouze částečné měření z Nového Zélandu [11].

Bylo by vhodné vyvinout nízkonákladové zařízení, které by pouze měřilo spotřebovanou teplou vodu a teplou vodu odebranou kolektorem a tato data přenášelo, například formou každodenních SMS zpráv, do centrály firmy, která zařízení instalovala. To by umožnilo navrhnout solární zařízení na míru jednotlivým uživatelům s projekcí vysoké účinnosti po celou dobu životnosti.

Podpořeno z Výzkumného záměru MSM Solární energetika přírodních a technologických systémů 000020001

Použité zdroje:

- [1] Reiss, H.: Solar Energy, Vol. 30, No. 2, p.133-146 (1983)
- [2] Schmidt, T.: Solar Energy, Vol. 76, No. 1-3, p.165-174 (2004)
- [3] Voss, K.: Energy and Buildings, Vol. 32, No. 3, p.291-302 (2000)
- [4] Meliss, M. and Späte, F.: Solar Energy, Vol. 69, No. 6, p.525-533 (2000)
- [5] Hahne, E.: Solar Energy, Vol. 69, No. 6, p.469-493 (2000)
- [6] Pedersen, P.V.: Solar Energy, Vol. 50, No. 3, p.259-266 (1993)
- [7] Heller, A.: Solar Energy, Vol.69, No. 6, p.437-447 (2000)
- [8] Ladener, H., Späte, F.: Solární zařízení, Grada Publishing a.s. (2003)
- [9] Faninger, G.: Solar Energy, Vol. 69, No. 6, p.425-435 (2000)
- [10] Straintforth, D., Cole, A., Dollez, P., Edwards, H., Wilczek, J.and Wood, M.:Solar Energy, Vol. 58, No. 1-3, p.111-119 (1996)
- [11] Western, B.E.and Benseman, R.F.: Solar Energy, Vol. 36, No. 6, p.471-476 (1985)
- [12] Parker, G.J.: Solar Energy, Vol.26, p. 189-197 (1981)
- [13] Nordell, B.and Hellström, G.: Solar Energy, Vol. 69, No. 6, p.511-523 (2000)
- [14] Bokhoven, T.P., Van Dam, J. and Kratz, P.: Solar Energy, Vol. 71, No. 5, p.347-352 (2001)
- [15] Fisch, M.N., Guigas, M. and Dalenbäck, J.O.: Solar Energy, Vol. 63, No. 6, p.355-366 (1998)