

# PŘEHLED ENVIRONMENTÁLNÍCH HODNOCENÍ SOLÁRNÍCH TERMICKÝCH SOUSTAV V EVROPĚ

Petra Tvrdá<sup>1)</sup>, Stanislav Frolík<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Laboratoř vnitřního prostředí, UCEEB, ČVUT, Buštěhrad

<sup>2)</sup> katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT, Praha

## ANOTACE

Článek se zabývá hodnocením solárních termických soustav v Evropě z hlediska množství zabudované energie. V první části je proveden přehled dostupných informací z evropských publikací, další část se věnuje databázím a programům pro environmentální hodnocení. Na závěr je provedeno vyhodnocení solární soustavy pro bytový dům v České republice. Veškeré informace vycházejí z disertační práce autorky [14]. Práce se nezabývá ekonomickým hodnocením.

## SUMMARY

The paper deals with the evaluation of solar thermal systems in Europe in terms of embodied energy. The first part of the paper summarizes available information from European publications. The next part is focused on databases and software for environmental assessment. Finally, the work deals with the evaluation of a residential building in the Czech Republic. All information is based on the author's doctoral thesis. Economic aspects are not studied in this paper.

## ÚVOD

Doba návratnosti zabudované energie ukazuje na skutečný přínos solárních termických soustav pro trvale udržitelný rozvoj. Vyhodnocení však i v dnešní době naráží na nedostatek informací o zabudované energii v kolektorech i celých solárních systémech. Proto se tomuto tématu podrobně věnovala disertační práce *Návratnost energie solárních termických systémů* [14], některé výstupy z práce jsou uvedeny v tomto článku.

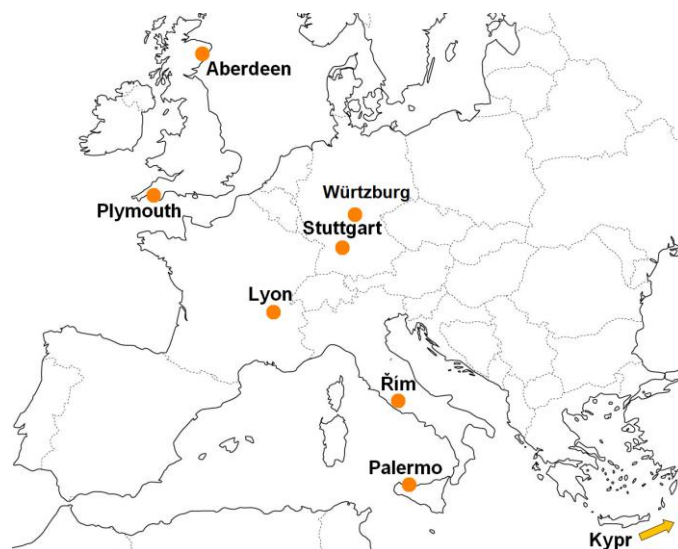
## HODNOCENÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV V EVROPĚ

V příspěvku jsou zpracovány informace z odborných publikací [1-5,7-9], které se věnují solárním termickým systémům v Evropě. Autoři se zabývají množstvím zabudované energie v kolektorech a solárních systémech, analýzou životního cyklu (LCA - life cycle assessment) různých typů soustav nebo vyhodnocením návratnosti zabudované energie. Na obrázku 1 jsou znázorněny lokality, pro které jsou soustavy hodnoceny. Článků, které řeší soustavy s podobnými klimatickými podmínkami jako v České republice, není mnoho. Z tohoto pohledu nám nejvíce odpovídají systémy instalované v Německu. V ostatních zemích jsou rozdíly jak v množství slunečního záření, tak v teplotách vzduchu ovlivňujících spotřebu tepla v budovách. V zemích, kde není nutné řešit ochranu proti mrazu, se často instalují solární soustavy s odlišnou konstrukcí.

### Příprava teplé vody ve Würzburgu

V knize Solární zařízení [8] jsou rozebírány ekologické aspekty solárních soustav na základě studie z roku 1997 pro lokalitu Würzburg v Německu. Popsány jsou tři varianty malé solární

soustavy se zásobníkem o objemu 400 l. Soustavy se liší použitým typem kolektoru. První je tvořena plochým kolektorem s hliníkovým rámem o ploše 6 m<sup>2</sup>, ve druhé soustavě je plochý kolektor s plastovou skříní také o ploše 6 m<sup>2</sup> a ve třetí je vakuový trubicový kolektor o ploše 5 m<sup>2</sup>. Kromě solárních kolektorů jsou do hodnocení zahrnuty další části soustavy: zásobník, kompaktní stanice, potrubní systém a čerpadlo/regulace. Výsledná energetická amortizace, pokud je soustava určena pro přípravu teplé vody, je **7 měsíců až 3 roky**. Pokud by byla soustava využívána pro ohřev bazénové vody, klesne podle této publikace amortizace na **5 měsíců až 1 rok**.



**Obr. 1** Studované zahraniční solární systémy, zdroj: [14]

### **Combi-systém ve Stuttgartu**

Příspěvek z roku 2004 [9] je zaměřen na malé solární systémy. První část hodnotí využití solárního tepla na přípravu teplé vody, druhá část se zabývá kombinovaným systémem na teplou vodu a vytápění. Objem zásobníku na přípravu teplé vody je 300 l. Hodnoceny jsou dva druhy plochých solárních kolektorů s plochou absorberu 5 m<sup>2</sup>, které se liší použitými materiály v kolektorech i v nosných konstrukcích a také integrací do střešní konstrukce. Do hodnocení je zahrnuto vyhodnocení celého systému včetně dopravy, montáže a zprovoznění soustavy, údržby, provozní náročnosti oběhového čerpadla a regulace. Výsledky ukazují, že energetická návratnost pro systémy na přípravu teplé vody bude **1,4 let až 2,1 let**. Kombinovaný systém je hodnocen pro čtyři různé varianty soustav, které se liší použitými kolektory, plochou kolektorů a využitím zaintegrovaného nebo samostatného kotle na plyn nebo topný olej. Energetická návratnost těchto systémů se pohybuje v rozmezí **2,2 až 3,9 let**.

### **Příprava teplé vody v Anglii**

V článku [1] se autoři zabývají solárním systémem pro přípravu teplé vody v rezidenčním sektoru pro domácnost o 1 - 4 členech. Hodnoceny jsou různé lokality od skotského Aberdeenu až po Plymouth v jižní Anglii. Soustava se skládá z plochého solárního kolektoru o ploše 2,8 m<sup>2</sup> připojeného do stávajícího zásobníku na teplou vodu, který není ve studii hodnocen. Solární oběhové čerpadlo je poháněno fotovoltaickým panelem. Množství teplé vody zohledněné ve studii je buď 110 nebo 150 l/domácnost-den. Stupně solárního pokrytí soustav jsou v rozmezí 28 - 42 %. Výsledná hodnota návratnosti energie pro základní případ bez uvažování vlivu nahrazovaného zdroje tepla vychází na **2,9 - 5,2 let**. Dále je energetická návratnost určována pro různé stávající zdroje tepla (elektřina, plynový kotel a kotel na

topný olej): podle výsledků této studie pak budou hodnoty návratnosti **0,7 – 2,4 let**. Při použití hliníku recyklovaného z 50 % se celková doba návratnosti ve všech případech sníží přibližně o 16 %.

### Vytápění a příprava teplé vody na Kypru

Pro lokalitu v Nikósii na Kypru byl publikován další článek [7] týkající se přínosů malé solární soustavy pro životní prostředí. Hodnoceny jsou dva typy soustav. První případ hodnotí systém s plochými kolektory o ploše 3,8 m<sup>2</sup> a velikostí zásobníku 160 l. Druhá soustava je dimenzována jak pro přípravu teplé vody, tak pro vytápění a skládá se z 19 m<sup>2</sup> plochých kolektorů a zásobníku o objemu 1 500 l. V obou případech je množství teplé vody dimenzováno pro jednu domácnost se čtyřmi osobami: celkem 120 l/den. První soustava dosahuje solárního podílu 89 %. Energetická návratnost se pak bude pohybovat pod **1,2 let**. V případě s kombinací přípravy teplé vody a vytápění je solární podíl 57 % a výsledná návratnost energie je **3,7 let**.

### Příprava teplé vody v Lyonu

Další příspěvek [5] se zabývá systémem na přípravu teplé vody pro čtyřčlennou domácnost instalovaným ve francouzském Lyonu. Předpokládaná spotřeba teplé vody v celé domácnosti je 140 l/den. Použito je 4,4 m<sup>2</sup> plochých kolektorů a zásobník o objemu 300 l. Solární pokrytí je 50 %. Při hodnocení případu, kdy je sekundárním zdrojem tepla plynový kotel, je podle této studie návratnost zabudované energie **1,5 let**. Pokud by se nahrazoval zdroj tepla na elektřinu, sníží se tato návratnost pod **1 rok**.

### Samotížná soustava v Palermu

Asi nejpodrobněji byla vypracována analýza samotížné soustavy v Palermu [2,3], pro jejíž zpracování byly využity i údaje o energetické náročnosti výroby z továrny, které jiné práce nezohledňují. Hodnocený systém je kompaktní funkční jednotka tvořená solárním kolektorem o ploše 2,13 m<sup>2</sup>, nosnou konstrukcí a zásobníkem umístěným naležato nad horní hranou kolektoru (viz obr. 2 vlevo). Tento způsob přípravy teplé vody se běžně používá v jižních státech, kde nehrozí zamrznutí vody. Hodnocen byl celý životní cyklus: výroba, instalace, údržba a servis, doprava a likvidace. Návratnost energie tohoto systému je velice nízká: **méně než 2 roky**. V rámci citlivostní analýzy byl také proveden výpočet pro variantu s nižší účinností systému o 40 %, ke které může dojít během provozování soustavy v důsledku řady problémů: např. degradace selektivní vrstvy absorbéru, koroze ocelových částí, poškození polyuretanové izolace, znečištění zasklení kolektoru, usazeniny v potrubí a výměníku. I po započítání těchto vlivů bude stále celková energetická návratnost velice dobrá: **nižší než 4 roky**.



**Obr. 2** Kompaktní funkční jednotka samotížné soustavy v Palermu (vlevo) a Princip integrovaného solárního kolektoru v Římě (vpravo), zdroje [1,4,15]

### **Integrovaný solární kolektor v Římě**

Publikace [4] popisuje další systém používaný v jižních zemích, kde nehrozí zamrznutí kapaliny v kolektoru. Zabývá se hodnocením solárního termického systému s integrovaným zásobníkem teplé vody. Kolektor se skládá z jedné až čtyř větších trubek, které umožňují až šedesátkrát zvětšit vodní objem kolektoru. Proto již není nutný externí solární zásobník. Princip kolektoru je znázorněn na obrázku 2 vpravo. Plocha kolektoru je 1,44 m<sup>2</sup> (resp. 1,68 m<sup>2</sup> - celková vnější plocha), vodní objem kolektoru je 100 l. Řešeny byly případy, kdy je nahrazovaným zdrojem tepla plynový kotel nebo elektrokotel. Návržnost energie tohoto systému je velice dobrá: **5 až 16 měsíců**.

### **Hodnotící databáze a programy**

Informace o množství energie, která je nutná k výrobě jednotlivých materiálů, je možné najít v různých pramenech. Publikované studie nejčastěji využívají švýcarskou databázi Ecoinvent [12]. Jedná se pravděpodobně o nejpřesnější a nejrozsáhlejší nástroj, který je v současné době k dispozici. Volně dostupná je rozsáhlá anglická databáze materiálů: Inventory of carbon and energy (ICE) [6]. Kromě množství zabudované energie obsahuje také informace o emisích oxidu uhličitého. V databázi je zpracováno velké množství údajů z různých let, jednotlivé typy materiálů jsou zpracovány velmi podrobně v mnoha variantách, např. ocel je uvedena v deseti různých variantách. Dalším dostupným zdrojem dat jsou publikace od rakouského autora T. Waltjena [10, 11], které však neobsahují všechny druhy materiálů používané v solárních termických soustavách. Dále je pro analýzu LCA často využíván německý program umožňující modelovat veškeré procesy životního cyklu: GEMIS (Global Emissions Model for integrated Systems) [13]. Ostatní zdroje dat, které byly využity ve výše zmíněných publikacích, mají spíše okrajový význam. Italské práce využívají hodnoty z vlastní národní databáze pro hodnocení životního cyklu LCA: ANPA - Italian Agency for the Protection of the Environment. Studie z Kypru [7] využila hodnoty z novozélandské databáze z roku 1995: Embodied energy coefficients of building materials (Alcorn J.). Využití tohoto pramene v evropských podmínkách je však diskutabilní, protože těžba, zpracovávání a zejména doprava surovin na Novém Zélandu se může od evropských značně lišit.

V rámci citlivostní analýzy italské práce [3] byla provedena analýza kvality dat. Byly prokázány velké rozdíly u údajů, které se týkají zabudované energie v hliníku, mědi, nemrznoucí kapalině a pozinkované oceli. Podle této citlivostní analýzy se může množství primární energie celé funkční jednotky, která byla v práci hodnocena, lišit o ±20 % podle použitého zdroje dat o materiálech. Nejdůležitější je pak použití kvalitních dat u hliníku, který má největší dopad na hodnocení LCA celé soustavy, což bylo prokázáno i v dalších publikacích např. [1].

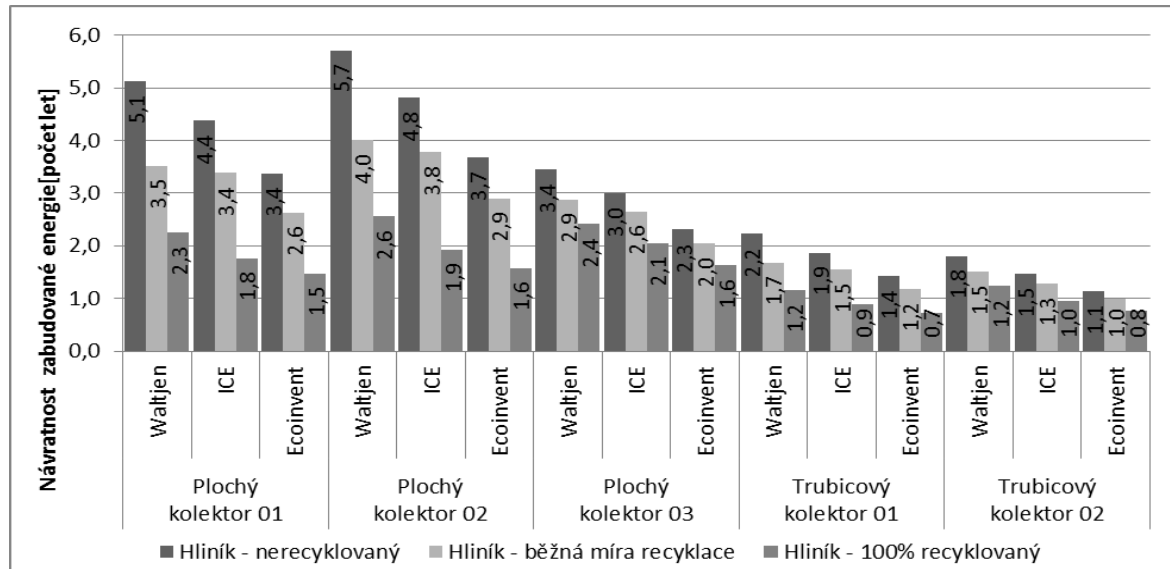
### **ČESKÁ REPUBLIKA**

V disertační práci [14] bylo provedeno vyhodnocení solární soustavy v podmínkách České republiky. Pro analýzu byl zvolen teoretický případ bytového domu, pro který bylo navrženo 5 soustav – každá s jiným typem kolektoru. Výpočty byly provedeny pomocí nově vytvořeného kalkulačního nástroje NESTS, popsáno v disertační práci. K vyhodnocení byly využity tři zdroje dat a byla zohledněna různá míra recyklace hliníku v konstrukcích. Výsledek znázorňuje obr. [3].

Při použití nerecyklovaného hliníku je nejdelší návratnost energie u soustavy s plochým kolektorem 02 vyhodnoceném pomocí údajů z publikací T. Waltjena: **5,7 let**. Nejnižší

návratnost je při vyhodnocení s pomocí databáze Ecoinvent u druhého trubicového kolektoru: **1,1 roků**. Je vidět, že doba návratnosti energie soustav s vakuovými trubicovými kolektory je o několik let nižší než u soustav s plochými kolektory.

Použitím recyklovaných surovin při výrobě soustav můžeme výsledky značně zlepšit. Při použití běžné míry recyklace hliníku se návratnost energie pohybuje mezi **1 až 4 roky**. Pokud použijeme 100% recyklovaný hliník v celé soustavě, je možné dosáhnout snížení návratnosti energie o 30 až 60 % a dosáhnout tak hodnot návratnosti zabudované energie **0,7 až 2,6 let**.



**Obr. 3** Návratnost zabudované energie vyhodnocená podle tří různých databází (Waltjen, ICE a Ecoinvent) s různou mírou recyklace použitého hliníku, zdroj dat: [14]

## ZÁVĚR

Jak je vidět z výše citovaných publikací, doba návratnosti energie pro solární termické soustavy v Evropě se pohybuje v řádu měsíců až několika let: od pěti měsíců v případě kolektoru s integrovaným zásobníkem v Římě po pět let v případě anglické přípravy teplé vody. Využití solárních kolektorů pro přitápění sice zvyšuje dobu návratnosti energie oproti samostatné přípravě teplé vody, ale ne příliš výrazně. Výsledky v jednotlivých lokalitách se liší v důsledku rozdílné intenzity slunečního záření, účinnosti uvažovaných soustav a uvažované spotřeby tepla v budovách. Nezanedbatelný vliv má také odlišný způsob hodnocení i míra podrobnosti zpracování všech energeticky náročných procesů v jednotlivých publikacích. V teoretickém případě českého bytového domu jsou výsledné hodnoty návratnosti energie mezi 0,7 až 5,7 let v závislosti na zvoleném typu kolektoru, míře recyklace hliníku použitého v konstrukcích a na databázi použité pro hodnocení. Tyto výsledky odpovídají zahraničním publikacím a dokládají tak, že solární termické systémy jsou obnovitelné zdroje tepla s rychlou návratností zabudované energie, které za svoji životnost několikanásobně vrátí energii vloženou do výroby.

## LITERATURA

- [1] ALLEN, S.R., G.P. HAMMOND, H.A. HARAJLI, M.C. MCMANUS a A.B. WINNETT. *Integrated appraisal of a Solar Hot Water system*. Energy. 2010, vol. 35, issue 3, s. 1351-1362. DOI: 10.1016/j.energy.2009.11.018.

- [2] ARDENTE, Fulvio, Giorgio BECCALI, Maurizio CELLURA a Valerio LO BRANO. *Life cycle assessment of a solar thermal collector*. *Renewable Energy*. 2005, vol. 30, issue 7, s. 1031-1054. DOI: 10.1016/j.renene.2004.09.009.
- [3] ARDENTE, Fulvio, Giorgio BECCALI, Maurizio CELLURA a Valerio LO BRANO. *Life cycle assessment of a solar thermal collector: sensitivity analysis, energy and environmental balances*. *Renewable Energy*. 2005, vol. 30, issue 2, s. 109-130. DOI: 10.1016/j.renene.2004.05.006.
- [4] BATTISTI, Riccardo a Annalisa CORRADO. *Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage*. *Journal of Cleaner Production*. 2005, vol. 13, 13-14, s. 1295-1300. DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.05.007.
- [5] DE LABORDERIE, Alexis, Clément PUECH, Nadine ADRA, Isabelle BLANC, Didier BELOIN-SAINT-PIERRE, Pierryves PADEY, Jérôme PAYET, Marion SIE a Philippe JACQUIN. *Environmental Impacts of Solar Thermal Systems with Life Cycle Assessment*. In: *The World Renewable Energy Congress 2011*. Linköpings universitet: Linköping University Electronic Press, 2011, s. 3678-3685. ISBN 978-91-7393-070-3/ISSN 1650-3740. Dostupné z: <http://solarthermalworld.org/content/environmental-impacts-solar-thermal-systems-life-cycle-assessment-2011>
- [6] HAMMOND, Geoff a Craig JONES. *Inventory of carbon and energy (ICE)* [online]. UK: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2008 [cit. 2014-06-21].
- [7] KALOGIROU, Soteris A. *Environmental benefits of domestic solar energy systems*. *Energy Conversion and Management*. 2004, vol. 45, 18-19, s. 3075-3092. DOI: 10.1016/j.enconman.2003.12.019.
- [8] LADENER, Heinz. *Solární zařízení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267s. ISBN 80-247-0362-9.
- [9] STREICHER, E., W. HEIDEMANN a H. MÜLLER-STEINHAGEN. *Energy payback time—A key number for the assessment of thermal solar systems*. In: *Proceedings / EuroSun 2004; 14. Intern. Sonnenforum*. Freiburg: PSE, 2004, s. 20-23. ISBN 9783980965606/ISSN 3980965600. Dostupné z: [http://www.tzs.uni-stuttgart.de/abteilungen/tzs/literatur/Eurosun04\\_es.pdf](http://www.tzs.uni-stuttgart.de/abteilungen/tzs/literatur/Eurosun04_es.pdf)
- [10] WALTJEN, Tobias a Hildegund MÖTZL. *Ökologischer Bauteilkatalog: bewertete gängige Konstruktionen*. Wien [u.a.]: Springer, 1999. ISBN 9783211833704.
- [11] WALTJEN, Tobias. *Passivhaus-Bauteilkatalog: Ökologisch bewertete Konstruktionen = Details for passive houses: a catalogue of ecologically rated constructions*. 3rd revised ed. Wien: Springer Verlag Wien, 2009. ISBN 978-321-1994-962.
- [12] ECOINVENT. *The life cycle inventory data* [online]. Swiss Center for Life Cycle Inventories. Dostupné z: <http://www.ecoinvent.ch/>
- [13] GEMIS software. *Global Emission Model of Integrated Systems* [online]. Oko- Institut (Institute for Applied Ecology), Darmstadt. Dostupné z: <http://www.www.gemis.de>
- [14] TVRDÁ, P. *Návratnost energie solárních termických systémů*. Praha, 2014. Disertační práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov.

*Tato práce byla vytvořena za podpory projektu OP VaVpl č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov.*