

ELEKTRINA Z PANELŮ NEBO TEPLÁ VODA ZE STŘEŠNÍCH KOLEKTORŮ?

**IVO JIŘÍČEK^a, MICHAL KOLOVRATNÍK^b,
JAN MACÁK^a, MICHAEL POHOŘELÝ^a, LINDA
DIBLÍKOVÁ^a a VÁCLAV JANDA^a**

^a Ústav energetiky, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^b Ústav mechaniky tekutin a energetiky, České vysoké učení technické v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6

Ivo.Jiricek@vscht.cz, kolovrat@fsid.cvut.cz,
Jan.Macak@vscht.cz

Klíčová slova: fotovoltaika, fototermika, exergie, cena investice, návratnost

Úvod

Otázka, která napadá snad každého, kdo si chce pořídit nějakou sluneční instalaci na střechu rodinného nebo bytového domu, snížit provozní náklady spojené s energií a eliminovat tak nárůst cen konvenční energie je následující: Mám si pořídit fotovoltaické (PV) panely nebo kolektory na teplou vodu? Co je pro mě výhodnější a jaká bude životnost a návratnost mého systému? O porovnání zdánlivě neporovnatelných technologií se pokouší studie¹, která srovnává obě technologie na základě energetické účinnosti a nákladovosti se závěrem, že bez uvažování jakýchkoliv podpor má fototermika jednoznačně navrch, pokud je spotřeba tepelné energie rozložena rovnoměrně v průběhu celého roku, např. při ohřevu TV. Předložený článek zavádí ještě jedno srovnávací kritérium. Při použití konceptu exergické účinnosti však dochází k jiným závěrům.

Fotovoltaický systém

Instalace solárních zařízení, které produkují elektrickou energii, je zvláště výhodná při prodeji za dotovanou cenu do veřejné sítě, která je garantována po dobu 20 let². Současné výkupní ceny³ na úrovni 12,89 Kč kWh⁻¹ pro systémy o instalovaném výkonu do 30 kW sice od minulého roku klesly o 4,2 %, stále je však toto řešení vhodné pro investory s malou vlastní spotřebou elektrické energie. Pro většinu ostatních investorů malých střešních systémů bude výhodnější zvolit si prodej formou zelených bonusu, které umožňují přímou spotřebu elektrické energie v místě výroby, za což obdrží 11,91 Kč kWh⁻¹, a přebytky dodají do sítě. Výhodou tohoto řešení zejména v rodinných domech je propojení solární elektrárny s rozvody v domě bez nutnosti budovat nové přípojné místo. Úspora se dále bude

zvyšovat s rostoucí cenou elektrické energie s přímým dopadem do zrychlené návratnosti. O výhodnosti podpory pro velké investory na zelené louce, kteří si umí vyjednat výhodné množstevní slevy na panely a dosáhnout na nej-různější další dotace, není třeba pochybovat. Otázka je, jestli to je ten správný směr ve fotovoltaice, který bychom chtěli dotovat z peněz na podporu OZE v ČR. Dotace fotovoltaiky je obecně drahá a rozpočet na podporu OZE, který společně plní všichni plátcí faktur za elektřinu, není bezedný. Pro systémy s instalovaným výkonem nad 30 kW jsou sice výkupní ceny nižší na úrovni 12,79 Kč kWh⁻¹. Jestli je toto snížení dostatečné k motivaci investorů upřednostnit více instalací do malých střešních systémů před jednou megawatovou instalací na zelené louce, není zřejmé. Malé střešní systémy nepotřebují hlídací službu a umožňují spotřebu přímo v místě výroby. To je velmi výhodné, neboť ztráty při několikanásobné transformaci a transportu silové elektrické energie ke vzdálenému spotřebiteli mohou celý efekt projektu na zelené louce značně poškodit.

Ještě vyšší výkony z jednotky plochy (1 kWp z 3,5 m²) lze získat pomocí koncentračních fotovoltaických systémů CPV. Současná technologie koncentruje při nízkém konstrukčním profilu do 30 cm až 2000 sluncí na chlazené třípřechodové fotočlánky s konverzní účinností cca 38 % (cit.⁴). Použití pro střešní systémy je však sporné vzhledem k potřebě polohovacího zařízení (trackeru). Velké naděje jsou vkládány do tenkovrstvých křemíkových panelů o tloušťce okolo 1 μm, dále se však budeme zabývat v současné době nerozšířenějšími monokrystalickými a polykrystalickými FV panely.

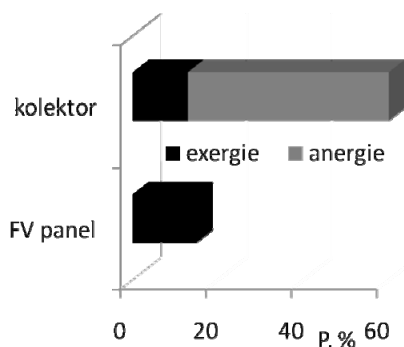
Solární ohřev TV a přitápění

Sluneční kolektory vyrábí tepelnou energii s vysokou účinností konverze. Malý fototermický systém v porovnání s fotovoltaickým systémem vyrobí ze stejné plochy ročně zhruba 4× více kWh energie. Energie je většinou ukládána do zásobníku, jehož obsah odpovídá plánované potřebě tepla do přidružených systémů ohřevu TV, bazénu či přitápění. Výrobci se předhánějí v nabídce sofistikovaných systémů s přitápěním, přestože praktické využití a návratnost takových řešení je dosti problematická. Z ekonomického hlediska však vychází neefektivnější systém, který pokrývá potřebu teplé vody v létě, a nejsou zde žádné nadbytky energie. Lepší návratnost dokladují až výpočty⁵ pracující s nárůstem ceny zemního plynu a elektřiny o 5 % ročně při současném využití nenárokové dotace z programu SFŽP pod položkou Solární systémy na celoroční ohřev vody. Při obdržení její maximální výše do 50 %, max. 50 000 Kč je návratnost okolo 15 let. To je na úrovni životnosti kolektorů. Systémy pořízené bez dotace

by se do černých čísel prosté návratnosti měly dostat až za zhruba 30 let. Situaci v ČR by mohl zlepšit až nový zákon o podpoře tepelné energie z obnovitelných zdrojů energie. Německý zákon o teple⁶ s účinností od 1. 1. 2009, zavádí podporu a ukládá povinnost vlastníkům budov pokrýt potřebu tepelné energie minimálně z 15 % při využití energie ze slunečního záření. Požadavky zákona jsou splněny, když u obytné budovy s více jak dvěma obytnými jednotkami jsou nainstalovány solární kolektory s plochou minimálně 0,03 m² aperturní plochy na m² užité plochy. Snahou zákonodárců je dosáhnout v roce 2020 14 % podíl obnovitelné energie na zásobování teplem. O pozitivním efektu výroby tepla z OZE vedoucí ke snížení závislosti na importech energie a ochraně klimatu není třeba pochybovat.

Kvalita elektřiny a tepla

Elektrická energie je kvalitnější produkt než teplo. Z elektřiny lze vyrobit teplo s vysokou účinností přeměny, např. ráno v rychlovarné konvici. Opačný proces při stejné účinnosti však již možný není. Tyto problémy zohledňuje koncept exergie, který vyjadřuje přeměnitelnost (konvertibilitu) energie. Jakoukoliv energii kolem nás si můžeme představit jako směs přeměnitelné a nepřeměnitelné energie neboli součet exergie a anergie. Srovnání různých druhů energie pak lze provést pomocí koeficientu kvality (K), který udává podíl exergie na celkovém množství energie. Koeficient kvality K pro elektřinu je roven jedné. To znamená, že elektřina je čistá exergie. Koeficient kvality pro teplo však závisí na teplotě, při které je teplo k dispozici. Protože teplo obsahuje vyšší podíl přeměnitelné energie při vyšších teplotách, než je tomu při teplotách nižších, je kvalita tepla o vyšších teplotách vyšší než při teplotách nižších. Koeficient kvality pro teplo (Carnotův koeficient) je vždy menší než jedna. Při vyrovnání teploty dodávaného tepla s teplotou okolí je K rovno nule. Takové teplo je čistá anergie. Pro srovnání uvažujme stejný příkon sluneční energie pro průměrné podmínky ČR do fotovoltaického a fototerického panelu na úrovni 900



Obr. 1. Produkce exergie a anergie systémů při 100% příkonu sluneční energie

kWh rok⁻¹ kWp⁻¹ a průměrnou celoroční teplotu okolí, která činí 12 °C. Do vakuového kolektoru s průměrnou roční účinností přeměny 60 % vchází voda o teplotě 283 K a vychází s teplotou 363 K. Koeficient kvality tohoto tepla lze vyčíslit jako $K = (363 - 283) / 363 = 0,22$. Celková exergická účinnost kolektoru je pak rovna $\eta_{ex} = 0,6 \cdot 0,24 = 0,13$ neboli 13 %. Při srovnání s exergickou účinností FV panelu na úrovni 16 % tak vychází jako nižší. Produkce P (%) exergie a anergie systémů při 100% příkonu sluneční energie je uvedena na obr. 1. Posouzení systémů podle exergie je jen jeden z možných pohledů. Je zřejmé, že energii z kolektorů již nechceme dále přeměňovat, ale spotřebovat jako teplo.

Srovnání systémů

Srovnání systémů uvádí tabulka I. Výkon se u fotovoltaických zařízení vyjadřuje obvykle v kW_p, představující jednotku výkonu solárního panelu v bodě maximálního výkonu za standardních testovacích podmínek (1000 W m⁻², AM 1,5; 25 °C). Maximální výkon současných FV modulů pro jednotlivé aplikace se pohybuje od 120–290 W_p, skutečný výkon je funkcí kvality článku, úhlu a intenzitě dopadajícího záření a venkovní teploty. Většina výrobců FV panelů dále garantuje, že tento výkon neklesne pod 80 % během 20 let. Moduly mají plochu od 0,8 do 2 m², přičemž okrajová část plochy slouží k uchycení a výroby se neúčastní. Maximální výkon fototerických kolektorů se dosahuje při čistě optické účinnosti bez ztrát tepla do okolí, skutečný výkon závisí na venkovní teplotě a střední teplotě kolektoru, způsobu redukce ztrát do okolí (izolací, vakuem) a úhlu a intenzitě záření.

Účinnost přeměny kolektorových systémů v závislosti na technologii je 55–65 % při životnosti 15–20 let, na zásobník a kolektory je poskytována záruka do 10 let. Výrazně nižší životnost fototeriky je způsobena tepelnou únavou, korozního působení teplosměnných médií na použité materiály a přítomností pohyblivých částí (čerpadla,



Obr. 2. 10 kW projekt solární elektrárny u benzinové stanice blízko Budapešti

Tabulka I
Typické parametry slunečních systémů pro podmínky ČR

Srovnání technologií	Elektřina-fotovoltaické panely	Teplo-fototermické kolektory
Maximální výkon, W m^{-2}	130	800
Účinnost přeměny, %	16 (38 CPV)	60
Životnost, roky	27,5	17,5
Exergická účinnost, %	16 (38 CPV)	13
Produkce, $\text{kWh m}^{-2}\text{rok}^{-1}$	118	500
Roční využití inst. výkonu, %	9,5	7,1
Faktor energet. výnosů	9	6
Optimální umístění v ČR	jih, 30° od vodorovné roviny	jih, 45° od vod. roviny pro ohřev TV, jih, 60° od vod. roviny pro přitápění
Cena investice, Kč m^{-2} vč. příslušenství	17 500	10 000
Investice, Kč $\text{kWh}^{-1}\text{rok}^{-1}$	146	40
Návratnost, roky	12 (s dotací)	15 (s dotací), 30 (bez dotace)
Při investici 100 000 Kč lze produkovat	672,6 kWh rok^{-1} el. energie z plochy 5,7 m^2	2500 kWh rok^{-1} tepla z plochy 5 m^2
Při investici 100 000 Kč lze získat	8010,6 Kč rok^{-1}	6666,0 Kč rok^{-1} s dotací (3333 Kč rok^{-1} bez dotace)



Obr. 3. Příčinou snížené životnosti byla ztráta integrity zatekáním srážkové vody pod krycí sklo

armatura). Účinnost přeměny u současných monokrystalických a polykrystalických FV panelů je mezi 14–18 % při životnosti 25–30 let. Vyšší životnost fotovoltaiky však není automatická a vybírat je třeba mezi výrobky s dostatečnou garancí. Odstrašujícím příkladem jsou FV instalace, které se nepovedly, jako např. demonstrační projekt sluneční elektrárny na zelené louce u Budapešti zbudovaný pro provoz osvětlení a elektroniky sousedící benzinové stanice na obr. 2, 3.

V podmínkách ČR vyrobí 1 kW_p (cca 10 m^2 panelů) průměrně 650–1150 kWh elektrické energie v závislosti na

poloze s nejvyšším počtem slunečních hodin na jižní Moravě, uvažovaná je průměrná produkce 900 kWh $\text{rok}^{-1}\text{kW}_p^{-1}$. Produkce z FV panelů v ČR je sice poloviční ve srovnání s jihem Evropy, na druhé straně mají panely při nízké povrchové teplotě výhodnější výkonovou charakteristiku. Výkon v závislosti na typu článku roste s klesající teplotou až o 0,4 % K^{-1} . Produkce fototermického systému se může pohybovat v širokém rozsahu 300–700 kWh $\text{m}^2\text{rok}^{-1}$. Vzhledem k poklesu účinnosti s teplotou vzduchu má však většina systémů během tří měsíců zimního období zanedbatelnou produkci.

Využití instalovaného výkonu (kapacitní faktor) vyjádřený jako podíl skutečné produkce k teoretické maximální produkci, získané jako součin maximálního výkonu a počtu hodin v roce, vychází výhodněji pro fotovoltaiku.

Při hodnocení ekologického přínosu solárních systémů je důležitým hlediskem faktor energetických výnosů neboli kolikrát více energie systémy vyrobí za svoji životnost, než je nutné pro jejich výrobu. Z termických systémů je faktor energetických výnosů v rozmezí 4,6–7,2 a nejlépe vycházejí vakuové kolektory, u FV panelů je faktor v rozmezí 6–12.

Cena investice FV vychází z ceny 135 000 Kč kW_p^{-1} včetně veškeré kabeláže a invertoru, přičemž cena instalace bude záviset na tom, jestli je třeba budovat přípojné místo. Cena fototermického zařízení se pohybuje mezi 15 a 25 000 Kč m^{-2} včetně akumulace, armatur a regulace. Ekonomické hodnocení je obtížné z důvodu rozdílné podpory systémů. Pro lepší porovnatelnost fototermiky s dotovanou fotovoltaikou započítáváme dotaci 50 000 Kč

z programu SFŽP pro malé systémy, čímž se dostáváme na cenu investice do kolektorového systému zhruba poloviční. Prostá návratnost je vypočtena jako podíl ceny investice a ročního toku peněz za předpokladu současné výkupní ceny $11,91 \text{ Kč kWh}^{-1}$, to znamená bez zahrnutí inflace. Výsledky vycházejí lépe pro fotovoltaický systém a pro investora s částkou v řádu statisíců při vhodně orientované střeše je tak projekt sluneční elektrárny dobrou alternativou s dostatečnou návratností. V případě sázky pouze na fotovoltaický střešní systém a jeho instalaci na celou dostupnou plochu střechy a potřebě tepla by bylo možno využít technologie tepelného čerpadla podporovaného fotovoltaickou energií (PV-SAHP)⁷. Systém by měl teoreticky přečerpat srovnatelné množství tepla jako fototermické kolektory (troj až čtyřnásobek kWh elektrických), toto řešení se však zatím jeví jako příliš přetechizované s nízkou návratností.

Závěr

Systémy fototermických kolektorů vyrobí díky vyšší účinnosti přeměny více kWh energie. Tato energie však představuje nízkopotenciální teplo o nízké hodnotě exergie, takže celková exergická účinnost fototermiky je nižší. Letní přebytky nelze prakticky využít. Prostá návratnost investice do systému vyrovná životnost zařízení až při započtení nenárokové dotace. Ani při započtení této dotace ale nenabízí fototermika takovou návratnost jako dotovaná fotovoltaika.

Fotovoltaické systémy vyrábějí čistou exergii při vyšším ročním využití instalovaného výkonu a umožňují tak větší flexibilitu následného využití energie s odvodem přebytků včetně přebytků letních do sítě. Výhoda použití FV panelů tak spočívá v tom, že s vyrobenou energií máme možnost volby. Můžeme ji spotřebovat přímo a k ceně $11,91 \text{ Kč kWh}^{-1}$ si můžeme přičíst cenu, kterou bychom za tuto energii při nákupu zaplatili distributorovi ($2,00$ až $5,00 \text{ Kč kWh}^{-1}$). Pro dobrou návratnost investice je však potřeba vycházet pouze z panelů s garantovanou životností.

Malé střešní systémy nepotřebují hlídací službu, umožňují spotřebu přímo v místě výroby a jsou odolnější vůči vandalství. Pro investory do malých střešních systémů ze srovnání plyne, že doporučit lze instalaci FV panelů, přičemž vhodné je nechat část střechy volnou pro budoucí instalaci kolektorů. Čas pro jejich instalaci přijde v okamžiku, kdy bude jasná jejich větší legislativní podpora. I při současné podpoře lze určitý minimalizovaný systém, který lze do budoucna rozšiřovat, doporučit v budovách při očekávané vyrovnané spotřebě teplé vody v průběhu roku, jako jsou nemocnice, hotely, lázně, domovy seniorů atd.

V ČR se na celkové spotřebě konečné energie teplo podílí 60 %. V rámci trhu s teplem dominuje teplo k vytápění budov s 60 % nad průmyslovým teplem se

40 %. K ohřevu užitkové vody, kterou je třeba zajišťovat celoročně, se v drtivé míře používá elektrická energie ($603 \text{ g kWh}^{-1} \text{ CO}_2$) a tepelná energie spalováním fosilních paliv zvláště zemního plynu ($219 \text{ g kWh}^{-1} \text{ CO}_2$). Zvýšení podílu tepla z OZE by vedlo k šetření fosilních paliv, snížení závislosti na importech energie a snížení emisí skleníkových plynů a umožnilo tak nastoupit cestu k trvale udržitelnému rozvoji v zásobování energiemi.

Tento text vznikl v rámci projektů MŠMT ČR MSM6046137304.

LITERATURA

1. Skácel D.: *Alternativní energie* 6, 14 (2008).
2. *Zákon 180/2005 sb. o podpoře výroby elektřiny z OZE (2005).*
3. *Cenové rozhodnutí č. 8/2008, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů pro rok 2009 (2008).*
4. Chong K. K., Siaw F. L., Wong C. W., Wong G. S.: *Renewable Energy* 34, 1364 (2009).
5. Nezdarová P.: *Topenářství instalace* 8, 36 (2007).
6. *EEWärmegesetz*, Renewable heat law, Germany 2008.
7. Jie J., Gang P., Tin-tai C., Keliang L., Hanfeng H., Jianping L., Chongwei H.: *Solar Energy* 82, 43 (2008).

I. Jiříček^a, M. Kolovratník^b, J. Macák^a, M. Pochořelý^a, L. Diblíková^a, and V. Janda^a (^a *Department of Energetics, Institute of Chemical Technology, Prague,* ^b *Department of Mechanics of Liquids and Energetics, Faculty of Mechanical Engineering, Czech University of Technology, Prague*): **Electricity from Photovoltaic Panels or Warm Water from Roof Collectors?**

The article describes various photovoltaic panels and roof solar collectors. Their annual production, capacitance factors, conversion factors, energy efficiency and economical benefits were calculated. Thermal collectors show a higher conversion efficiency and higher heat production but excess heat in summer cannot be usefully consumed. Due to a low temperature of the produced heat the total energetic efficiency of the roof photothermal systems is lower than that of photovoltaic systems. The photovoltaic systems do not need to be supervised, and make it possible to use the electricity at home, at the production site. The excess electricity can be fed into the electric network. New support mechanisms are needed to decrease the investment return time for heat generation in roof collectors.