

FVE z pohledu investičních nákladů a návratnosti

Ing. Tomáš Novák, Ph.D., Ing. Jaroslav Šnobl,
prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.,
VŠB-TU Ostrava, FEI – katedra elektroenergetiky

Úvod

V rámci spolupráce VŠB-TU Ostrava a ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) jsme měli příležitost řešit problémy spojené s fotovoltaickými elektrárnami (dále jen FVE). Zabývali jsme se zejména jejich návratností v souvislosti s různými vlivy. V první části se příspěvek věnuje dostupným technologiím fotovoltaických článků a jejich cenám. V další kapitole rozebírá strukturu investičních nákladů nutných k postavení FVE a především vlivu cen fotovoltaických článků na celkovou investici. Velmi zajímavá je ukázka vlivu účinnosti fotovoltaických panelů na návratnost investic do FVE. V článku jsou také využity materiály našich kolegů ze Slovenské akademie věd v Bratislavě (SAV) z měření dopadajícího záření a jeho rozdělení na přímou a difuzní složku, která může mít výrazný vliv na volbu typu fotovoltaických článků.

Dopadající sluneční záření v našich zeměpisných šířkách

Důvodem, proč je nutné se zabývat dopadajícím zářením, je cena FVE, která se odvíjí od cen komponent a nákladů na projekt a montáž. Ceny jsou udávány v korunách na watt špičkového výkonu za normovaných podmínek. Špičkový výkon je normou chápán jako přímé (kolmo) dopadající záření o výkonu $1\,000\text{ W/m}^2$ s definovaným spektrem AM 1.5 global (viz obr. 2) při teplotě panelu $25\text{ }^\circ\text{C}$. Definice špičkového výkonu vychází z laboratorních podmínek. V praxi je nutné si uvědomit několik základních faktů:

- V našich zeměpisných šířkách se maximální hodnota dopadajícího záření na zemský povrch pouze blíží k hodnotě $1\,000\text{ W/m}^2$, a to ještě jen při ideálním bezoblačném počasí.
- Když už ideální bezoblačné počasí nastane, v našich zeměpisných podmínkách není téměř možné zajistit teplotu panelu $25\text{ }^\circ\text{C}$.
- Je nutné brát v potaz vliv oblačnosti, a to jak z pohledu zmenšení dopadajícího záření, tak z pohledu směru dopadajícího záření (přímé sluneční záření se mění na záření difuzní).



Obr. 1. Ukázka střešní instalace FVE o výkonu 100 kWp

Definice normovaného dopadajícího záření je na obr. 2 porovnávána s vyzařováním absolutně černého tělesa a spektrem slunečního záření v kosmickém prostoru ve vzdálenosti 150 milionů km od slunce bez ovlivnění atmosférou AM0. Celková energetická hustota záření AM0 je $1\,367 \pm 7\text{ W/m}^2$. Tato hodnota je ve světelnotechnické praxi známa jako solární konstanta. Modelové spektrum slunečního záření AM1.5 již bere v úvahu průchod záření bezoblačnou atmosférou. Energetická hustota spektra AM1.5 je stanovena na $1\,000\text{ W/m}^2$. V reálné situaci ale tato úroveň silně závisí na stavu atmosféry (vlhkost, prašnost). Využitelný výkon slunečního záření pro FVE odpovídá šedé ploše pod křivkou AM1.5 na obr. 2. Norma však respektuje definování účinnosti fotovoltaického článku (panelu) pouze pro přímé sluneční záření.

Pro fotovoltaiku se používá spektrum AM1.5, protože odpovídá výšce slunce přibližně 45° nad obzorem. Sluneční záření v tomto případě prochází jedenapůlná-

sobně mohutnější vrstvou vzduchu, než když je slunce přímo v zenitu, ve výšce 90° . Za této situace prochází sluneční záření nejmenší možnou vrstvou vzduchu a je označováno jako AM1.

Pro bližší respektování reálných podmínek provozu by tedy měla být účinnost fotovoltaického článku (panelu) definována i pro záření difuzní. Některé typy fotovoltaických článků jsou schopny využívat pro přeměnu sluneční energie na energii elektrickou velmi výrazně i toto dopadající difuzní záření.

Na obr. 3 je vidět, kolik z celkového dopadajícího slunečního záření připadá na jednotlivé složky (přímou a difuzní). Hodnoty změřeného dopadajícího záření jsou ze dne 24. května 2001, měřeno bylo v Bratislavě. Průběh vypovídá o bezoblačném dni s velkým podílem přímé složky slunečního záření a minimální difuzní složkou. Pro dny se zataženou oblohou lze uvažovat nulovou přímou složku dopadajícího záření.

Tab. 1. Výsledky dlouhodobého měření slunečního záření dopadajícího na vodorovnou podložku v Bratislavě

Roky	2001	2002	2003	2004	2005
Průměrná denní dávka globálního horizontálního záření ($\text{W}\cdot\text{h/m}^2$)	3 122	3 149	3 415	3 089	3 242
Průměrná denní dávka difuzního horizontálního záření ($\text{W}\cdot\text{h/m}^2$)	1 501	1 495	1 402	1 480	1 434
Průměrná denní dávka přímého horizontálního záření ($\text{W}\cdot\text{h/m}^2$)	1 621	1 654	2 012	1 609	1 809

Tab. 2. Tabulka investičních nákladů na statické FVE při použití čtyř nejpoužívanějších typů fotovoltaických panelů (všechny ceny jsou vztahovány na 1 Wp a jsou uvedeny bez DPH pro rok 2010)

Typ fotovoltaických panelů	tenkovrstvé (8 %)	polykrystalické (14 %)	monokrystalické (19 %)	vícevrstvé (40 %)
Pozemek*) (Kč)	18,00	9,00	9,00	5,00
Transformátor (Kč)	2,00	2,00	2,00	2,00
Zázemí pro obsluhu (Kč)	2,70	2,70	2,70	2,70
Mechanické konstrukce (Kč)	9,00	6,00	6,00	6,00
Kabeláž a elektrické rozvody (Kč)	5,00	5,00	5,00	5,00
FV panely**) (Kč)	50,00	66,00	70,00	200,00
Měniče (Kč)	10,00	10,00	10,00	10,00
Stavební práce (Kč)	14,00	9,00	9,00	9,00
Zabezpečovací zařízení (Kč)	2,00	2,00	2,00	2,00
Základní pojištění (Kč)	0,30	0,30	0,30	0,30
Cena celkové investice (Kč)	113,00	112,00	116,00 Kč	242,00

*) při uvažované průměrné ceně pozemku 300 Kč/m² (tj. přibližně 6 až 12 Kč/Wp), bez majetkových daní
 **) ceny FV panelů jsou platné pro červen 2010 bez DPH [4]

Tab. 3. Tabulka návratnosti statických FVE při současných výkupních cenách pro různé typy fotovoltaických panelů

Účinnost panelu (%)	Průměrné investiční náklady FVE (Kč/kWp)	Počáteční výkupní cena za kW·h v roce 2010 (Kč)	Zisk z vyrobené energie za 20 let (Kč/kWp)	Návratnost (roky)
8	96 000	výkupní cena pro FVE do 30 kWp pro rok 2010	201 643	7 až 8
14	112 000		185 643	8 až 9
19	116 000		181 643	8 až 9
40	246 000		51 643	17 až 18

Difuzní záření v našich zeměpisných šířkách

Pro FVE je nutné brát v úvahu nejen přímé záření, ale také záření difuzní. Pro kvantifikaci difuzního záření bylo využito dlouhodobé měření slunečního záření z Bratislavy za roky 2001 až 2005 [1]. Hodnoty byly měřeny pro záření dopadající na vodorovnou podložku. Záření měřili (a stále měří) naši kolegové ze SAV. V tab. 1 jsou uvedeny průměrné roční hodnoty dopadající energie. Trvale je měřeno globální (celkové) a difuzní záření. Přímé sluneční záření bylo dopočteno jako rozdíl globálního a difuzního záření podle [1]. Hodnoty jsou uvedeny ve watthodinách na metr čtvereční (W·h/m²) z toho důvodu, aby si každý uvědomil energetickou bilanci přímého a difuzního záření, nikoliv pouze bilanci špičkových příkonů.

Z tab. 1, která byla vytvořena z hodnot dodaných ze SAV, jednoznačně vyplývá, že energetický podíl difuzního záření dopadajícího na zemský povrch v našich zeměpisných šířkách je nezanedbatelný a pohybuje se těsně pod hranicí 50 % z celkového dopadajícího záření. Při porovnání pouze hodnot špičkových výkonů dopadajícího záření se zjistí, že v ideálním případě je možné dosáhnout již zmiňované hodnoty do 1 000 W/m² při bezoblačné obloze a ideálních rozptylových podmínkách. Při uvažování pouze rovnoměrně zatažené oblohy, která je schopna zcela eliminovat přímé sluneční záření, se lze s hodnotami dopadajícího

záření na zemský povrch dostat na úroveň okolo 100 W/m², což je pouze desetiina dopadajícího záření při ideálních bezoblačných podmínkách. Srovnání špičkových příkonů a energetických bilancí ukazuje na nutnost posuzovat fotovoltaické články (panely) i z pohledu jejich schopnosti zpracování difuzního záření.

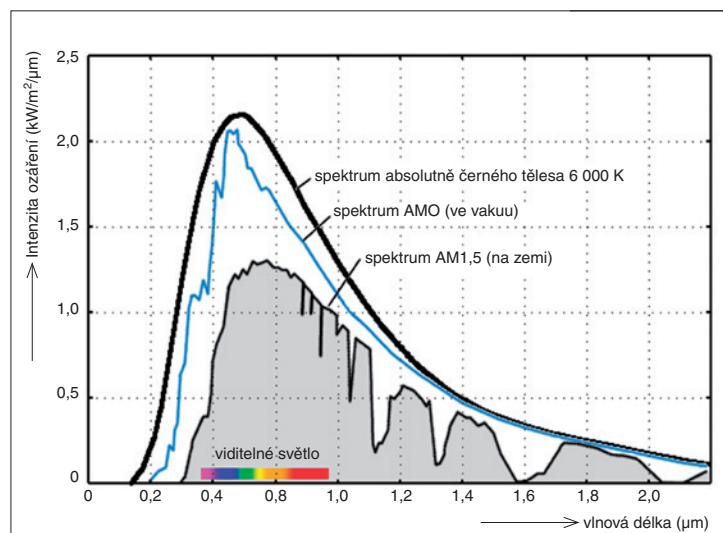
Stejně tak jako v případě přímého slunečního záření by mělo být definováno modelové spektrum o stanovené energetické hustotě pro záření difuzní. Takový záměr by však měl být podpořen dlouhodobým experimentálním měřením, v rámci kterého by bylo v dané oblasti analyzováno také spektrum globálního (celkové-

ho) záření s výsledným určením poměru difuzního a přímého záření. V budoucnu by pak mohla být energetická účinnost fotovoltaických článků (panelů) posuzována pomocí modelových spekter jak přímého, tak difuzního záření, následkem čehož by analyticky určená předpokládaná výroba elektrické energie pro daný fotovoltaický panel více odpovídala reálným podmínkám.

Vztah účinnosti fotovoltaických panelů a jejich ceny

V roce 2010 výrazně klesla cena fotovoltaických panelů za 1 Wp [2]. V červenci 2010 již bylo zaznamenáno 518 solárních modulů s cenou pod 3,2 EUR/Wp (82 Kč/Wp). Nejnižší maloobchodní cena za polykrystalické křemíkové solární moduly byla 1,39 EUR/Wp (35 Kč/Wp) od prodejce v USA. Nejnižší maloobchodní cena za monokrystalický křemíkový modul byla 1,55 EUR/Wp (40 Kč/Wp) od německého prodejce. Je však důležité brát v potaz i to, že ne všechny srovnatelné panely jsou na stejné cenové úrovni. Záleží především na značce, technických parametrech a certifikaci. Nejlevnější tenkovrstvé moduly se pohybovaly okolo ceny 0,86 EUR/Wp (22 Kč/Wp) od prodejce v USA. Přepočtení cen je podle červencového kurzu 25,5 Kč/EUR pro rok 2010. Cena fotovoltaických panelů představuje asi 50 až 60 % z celkových investičních nákladů na FVE. Solární modul je proto klíčovým prvkem v celkové ceně systému.

Investiční náklady FVE se v roce 2009 v ČR pohybovaly okolo 130 000 Kč/kWp pro malé FVE s instalovaným výkonem přibližně 1 kWp, asi 120 000 Kč/kWp pro FVE s instalovaným výkonem zhruba 5 kWp a v rozmezí 100 až 110 tis. Kč/kWp pro velké FVE. Ve srovnání s rokem 2008, kdy se ceny velkých systémů na začátku roku pohybovaly okolo 130 000 Kč/kWp,



Obr. 2. Spektrum AM0 (neovlivněno atmosférou) a AM1.5 (vliv atmosféry, slunce 45° nad obzorem) slunečního záření

jde o pokles, který je však z velké části způsoben změnami kurzu koruny, protože ceny panelů na evropském trhu v loňském roce stagnovaly.

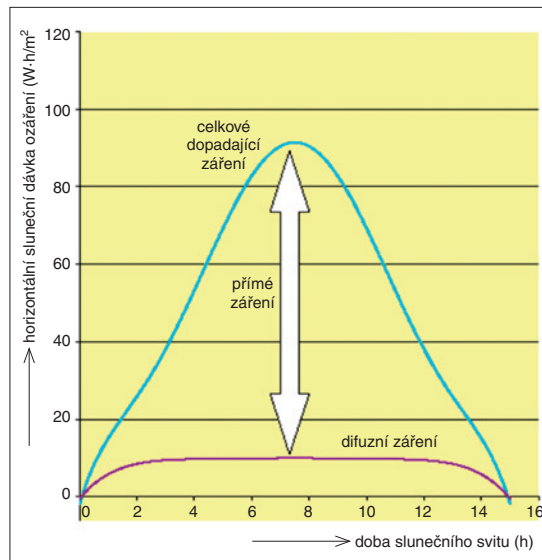
Na poklesu cen fotovoltaických panelů se podílí jednak výzkum a vývoj nových technologií a jednak růst objemu produkce, který obecně vede ke snížení ceny. Odlišit podíl jednotlivých vlivů je obtížné, je však velmi pravděpodobné, že kdyby nerostla produkce, bylo by zavádění nových postupů pomalejší. Rovněž investice do výzkumu by pravděpodobně byly nižší.

FVE jsou sestaveny z relativně malých modulů (panelů), jejich výkon je řádově v několika stovkách wattů. Všechny komponenty, např. panely a měniče, jsou vyráběny sériově. Ze zkušeností s jinými hromadně vyráběnými produkty (počítače, automobily, spotřební zboží) se ukazuje, že s růstem produkce klesají ceny těchto produktů. Závislost ceny na objemu produkce se nazývá křivka osvojení. Rychlost poklesu cen je pro každý druh zboží jiná. V případě fotovoltaických panelů byl v minulosti sledován pokles cen o 20 % při každém zdvojnásobení produkce [3], což nastává v současnosti zhruba každé dva roky. S výjimkou krátkodobých výkyvů způsobených výraznými změnami na trhu (nedostatek solárního křemíku) se předpokládá trend poklesu cen potvrzuje.

Investiční náklady na statické FVE

Tato pasáž je věnována rozboru investičních nákladů na statické FVE, protože mezi veřejností je rozšířen mylný názor, že při určitém procentuálním poklesu ceny fotovoltaických panelů nastane stejný procentuální pokles celé investice do FVE. Celkové investiční náklady na FVE se skládají z několika dílčích komponent (viz tab. 2), které jsou nezbytné pro fungování elektrárny. Kromě vlastní výroby elektrické energie je nutno zabezpečit FVE před krádežemi; patří sem také zázemí pro obsluhu či pojištění elektrárny. Z tab. 2 je zřejmé, že fotovoltaické panely tvoří největší část z celkových investičních nákladů. Tyto náklady však nejsou zcela dominantní. Například pro nejvíce používané polykrystalické a monokrystalické fotovoltaické panely se podíl jejich nákladů pohybuje okolo 60 %. Zbýlých 40 % nákladů je více méně fixních. Fluktuační těchto nákladů závisí zejména na místních podmínkách, které se mohou projevit změnou ceny pozemku, popř. změnou ceny

upevňovacích konstrukcí. Z uvedených údajů vyplývá, že vliv poklesu ceny fotovoltaických panelů není příliš zásadní. Například při poklesu ceny polykrystalických panelů o 25 % (velmi optimistická prognóza) poklesne cena celé investice pouze o necelých 15 %.



Obr. 3. Složky (difúzní a přímé) celkového dopadajícího slunečního záření

Návratnost FVE

Tato část příspěvku se opět snaží vrátit další mýty o návratnosti FVE. Standardní postup pro stanovování doby návratnosti FVE: počítá se prostý podíl předpokládaných tržeb za dobu životnosti FVE vzhledem k investičním nákladům. Tento postup ale nekoresponduje se skutečností – doba návratnosti je delší. Důvodem je „relativně nízká“ počáteční výkupní cena vyrobené elektrické energie, která narůstá teprve s prodlužující se dobou provozu FVE. Bude-li se návratnost FVE počítat tímto korektnějším způsobem, doba návratnosti FVE se při výkupních cenách pro rok 2010 a jejím uvažovaném 2% ročním růstu dostane do oblasti okolo osmi až devíti let u instalací s monokrystalickými a polykrystalickými panely. Tato návratnost je však pro investice se zajištěným odběrem a dotované státem stále příliš výhodná. Pro podobné investice je akceptovatelná návratnost ve výhledu patnácti let.

Do návratnosti a zisků nebyly zahrnuty majetkové daně, daň z přidané hodnoty a odvody zdravotního a sociálního pojištění, protože tyto položky jsou v čase proměnlivé a nelze je odhadnout.

Počáteční výkupní cena stanovená pro akceptovatelnou dobu návratnosti patnáct let by se při zachování současných investičních nákladů pohybovala u statických FVE s monokrystalickými a polykrystalickými panely okolo 6,5 Kč/kW·h, a to opět bez uvažování daňové zátěže.

Závěr

Výkupní ceny FVE a FVE vůbec jsou v ČR stále aktuální. Snad jsme krátkými sondami do jednotlivých částí této problematiky zpřehlednili firemní letáky a politická prohlášení.

Při srovnávání současných výkupních cen ostatních obnovitelných zdrojů elektrické energie (malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, biomasa) jsou nyní dotace do FVE výrazně vyšší. Při akceptování návratnosti FVE patnáct let by se mohla výkupní cena energie radikálně snížit na částku okolo 6,5 Kč/kW·h. I tato výkupní cena by však byla stále vyšší, než jsou výkupní ceny elektrické energie z ostatních obnovitelných zdrojů, které se pohybují v částkách do 4,5 Kč/kW·h.

Z našeho pohledu by bylo vhodné dále pokračovat v řešení problematiky měření účinnosti fotovoltaických článků, které může být při vyhodnocování pouze přímého záření lecky zavádějící.

Poděkování

Zvláštní poděkování patří ministerstvu průmyslu a obchodu, v rámci jehož zadání se koncept Studie využitelnosti fotovoltaických článků – rozbor parametrů fotovoltaických článků (elektráren) z hlediska účinnosti výroby elektrické energie na VŠB-TU Ostrava řešil jako HS410007.

Literatura:

- [1] DARULA, S. – KITTLER, R.: *Research of the year-round changes of solar and daylight availability for the computer evaluation of sustainable buildings*. Research Report, Bratislava, 2006.
- [2] *Solar Module Price Highlights*. July 2010. Dostupné na: {<http://www.solarbuzz.com/ModulePrices.htm>}.
- [3] McLEOD, R.: *The Glittering Future of Solar Power: Prognostication of Photovoltaic Capacity Extrapolated from Historical Trends*. Dostupné na: {<http://entropyproduction.blogspot.com/2007/05/glittering-future-of-solar-power.html>}.
- [4] Energetický regulační úřad. Dostupné na {<http://www.eru.cz/>}.
- [5] ČEPS, a. s. Dostupné na {<http://www.ceps.cz/>}.
- [6] SOKANSKÝ, K. – MIŠÁK, S. – ŠNOBL, J. – NOVÁK, T.: *Studie využitelnosti fotovoltaických článků – rozbor parametrů fotovoltaických článků (elektráren) z hlediska účinnosti výroby elektrické energie*. Materiál MPO, Ostrava, 2010.
- [7] SOKANSKÝ, K. – ŠNOBL, J. – NOVÁK, T.: *FVE z pohledu investičních nákladů a návratnosti*. In: Sborník Kurz osvětlovací techniky XXVIII, 2010.

Recenze: Ing. Roman Portužák, CSc., Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR