energie slunce • výroba elektřiny

EKIS ČEA

EkoWATT

ENERGIE SLUNCE - VÝROBA ELEKTŘINY

Sluneční energie je základní podmínkou života na Zemi. Sluneční záření lze **přímo** využívat k výrobě tepla, chladu a elektřiny, **nepřímo** jako energii vodních toků, větru, mořských vln, tepelnou energii prostředí (atmosféra, hydrosféra, litosféra) a energii živé hmoty - biomasy (biochemická energie).

možnosti a vývoj využití

Obrázek 1: Schéma využití solární energie.

Díky **fotoelektrickému jevu v polovodičích** můžeme energii slunečního záření přeměnit v **solárních článcích** (fotovoltaických článcích) na elektrickou energii. Přeměna slunečního záření na elektřinu má široké pole použití. Se stejnými základními stavebními prvky (solární články) je možné realizovat aplikace s výkonem řádově od mW až po desítky MW.

Energie vložená do výroby fotovoltaických panelů je těmito panely získána zpět v našich podmínkách během 2 - 4 let, přitom předpokládaná životnost je minimálně 20 let.

Nevýhodou je závislost na denní době, ročním období a na oblačnosti v dané lokalitě. Přesto jde o energetický potenciál, který nelze přehlédnout.

V posledních letech byly pro výrobu solárních článků vytvořeny další výrobní kapacity. Během dvou let (2000 - 2001) došlo ke zdvojnásobení celkové výroby solárních článků až na 394 MW_p (instalovaný špičkový výkon). Nejvýrazněji k tomuto výsledku přispěly japonské společnosti silně podporované národním rozvojovým programem (pro rok 2001 - 170 MW_p). Očekávaný meziroční přírůstek produkce v Japonsku je 53 %. Evropa se

podílela na celkové produkci 86 MW_p a meziroční nárůst je odhadován na 33 %. Ve Spojených státech amerických jsou k dispozici výrobní kapacity v objemu 106 MW_p/rok a očekávaný meziroční nárůst je nižší - na úrovni 20 %. Ostatní země jsou schopny ročně produkovat solární články se souhrnným výkonem 32 MW_p s nárůstem 28 %.

Celkový instalovaný výkon ve světě nyní dosáhl přibližně 1,5 GW_p. Tomu odpovídá ročně vyrobená elektrická energie cca 1,5 TWh.

V Evropě a v Japonsku se využívá převážně integrace fotovoltaických systémů do budov. V rozvojových zemích připravují různé mezinárodní organizace programy pro instalace fotovoltaických systémů ostrovního typu v odlehlých vesnicích.

Státy Evropské unie se zavázaly ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů ze 6 % v roce 1995 na 12 % v roce 2010. Pro fotovoltaické zdroje to představuje dosažení instalovaného výkonu 3 GW_p do roku 2010. V roce 1995 činil podíl fotovoltaické elektřiny na obnovitelných zdrojích 0,1 %, v roce 2010 má být zvýšen na 1 %.

Zatím jsou v České republice fotovoltaické systémy používány jen ojediněle a jejich přínos do celkové energetické bilance je v současnosti velmi nízký. Využívání je v počátcích svého možného vývoje, tedy ve fázi demonstračních projektů a zvyšování povědomí. Do konce roku 2002 byly v ČR nainstalovány fotovoltaické systémy s výkonem přibližně 0,2 MW_p. Soukromí investoři se až na výjimky zaměřovali na malé ostrovní systémy. V posledních dvou letech bylo nainstalováno i několik větších fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti (tzv. síťové fotovoltaické systémy). Největší překážkou jsou zatím vysoké pořizovací náklady a u systémů připojených na síť nízké výkupní ceny elektrické energie prodávané do sítě.

Obrázek 2: Solární panely na pražském hotelu Panoráma. (Zdroj: firma Solartec.)

přírodní podmínky

Průměrný počet hodin solárního svitu (bez oblačnosti) se v ČR pohybuje kolem 1460 h/rok (od 1400 do 1700 hodin za rok). Nejmenší počet hodin má severo-západ území. Směrem na jihovýchod počet hodin narůstá. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o ±10 %. V některých ojedinělých případech je odchylka vyšší.

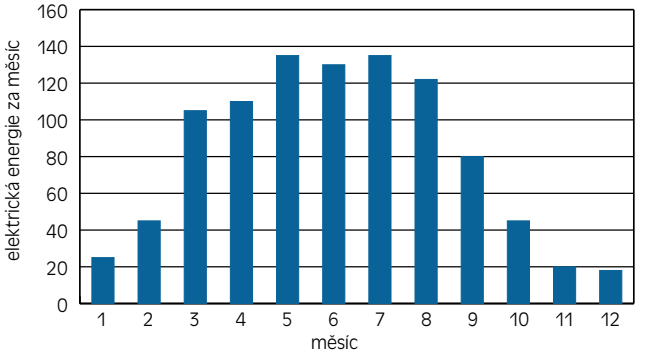
Technický potenciál výroby elektřiny je omezen na plochy, kde lze fotoelektrické systémy instalovat s ohledem na stav sítě, možnosti připojení atd. Pro odhady se používá hodnota roční sumy globálního záření (průměr pro celou Českou republiku je kolem 1081 kWh/m^2).

Podle údajů firmy Solartec lze použít následující klíčová čísla pro odhad výroby elektrické energie. Jeden m^2 fotovoltaického panelu s monokrystalickými články má špičkový výkon 110 - 120 W_p při standardním osvětlení 1000 W/m^2 a slunečním spektru AM 1,5 (spektrální hustota zářivého toku při jasné obloze vztažená na m^2 vodorovné plochy). Ze solárního panelu s touto plochou je možné během jednoho roku získat až 80 - 120 kWh elektrické energie. (Pro ilustraci - monokrystalický solární článek s plochou 10 x 10 cm je schopen dodávat do zátěže proud okolo 3,2 A při napětí 0,5 V).

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok [Wh]
Energie [Wh/den]	80	138	213	302	383	390	408	360	265	179	83	60	87 237

Tabulka 1: Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den], kterou lze získat během jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 W_p (cca 1 m^2) dle měsíců.

Fotovoltaický systém s instalovaným výkonem 1 kW je schopen dodat ročně 800 - 1000 kWh elektrické energie v podmínkách ČR.



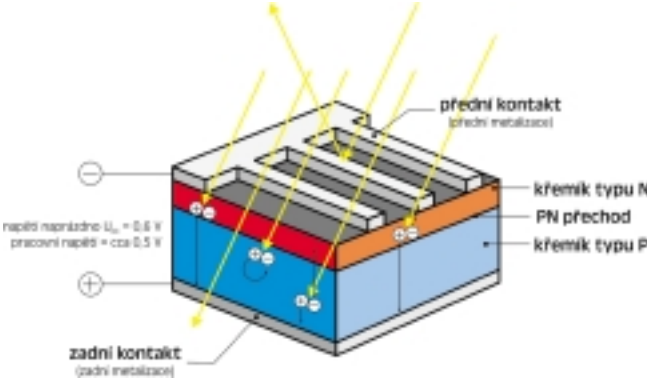
Obrázek 3: Průměrné hodnoty elektrické energie [kWh/měsíc], kterou lze získat ke spotřebě během jednotlivých měsíců v roce z fotovoltaického systému s výkonem 1 kW$_p$ v podmínkách ČR (Severní Morava); sklon fotovoltaických panelů cca 60°.

základní části zařízení

Základním prvkem zařízení pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii je **solární článek**. Solární článek je polovodičový velkoplošný prvek s alespoň jedním PN přechodem (v podstatě jde o polovodičovou diodu).

Na rozhraní materiálů P a N vzniká přechodová vrstva P-N, v níž existuje elektrické pole vysoké intenzity. Toto pole pak uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikající absorpcí světla. Vzniklý elektrický proud odvádějí z článku elektrody.

V ozářeném solárním článku jsou fotony generovány elektricky nabité částice (pár elektron - díra). Některé elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi "předním" (-) a "zadním" (+) kontaktem solárního článku. Zátěží (elektrospotřebičem) připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jež je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního záření.



Obrázek 4: Princip činnosti solárního článku.

Energetická účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je u současných hromadně vyráběných solárních článků až 14 - 16 %. U experimentálních článků je dosahována účinnost až 28 %. Celková průměrná využitelnost systému s ohledem na jeho konstrukci a na pracovní podmínky je 7 - 11 %.

Obrázek 5: Solární článek z monokrystalického a multikrystalického křemíku.

V současné době jsou nejrozšířenější solární články vyrobené z krystalického křemíku ve formě monokrystalu nebo multikrystalu (zastoupení 85 %) s účinností do 16 %. Své praktické uplatnění mají i tenkovrstvé solární články na bázi amorfního křemíku (zastoupení méně než 15 %) s účinností kolem 7 % (jsou levnější). Do výroby jsou již také zaváděny nové tenkovrstvé technologie CIS a CIGS struktury, které dosahují účinnosti až 13 %. Ve fázi vývoje jsou mimo jiné i solární články na bázi organických materiálů nebo fulerenů.

Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření **solární panel**. Články jsou sério-paralelně elektricky spojeny tak, aby bylo dosaženo potřebného napětí a proudu pro přímé využití generované elektrické energie. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost (např. vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod.).

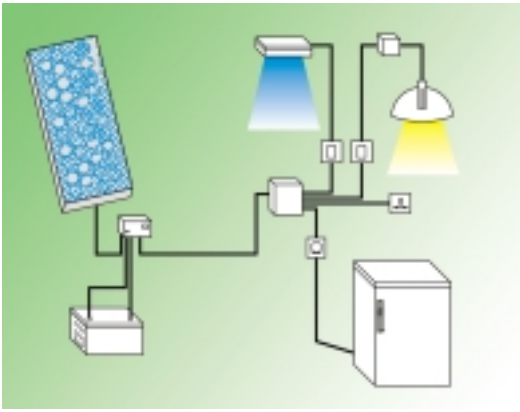
Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle druhu použití. Panely jsou instalovány zpravidla na jižní (případně JV až JZ) střechy a fasády budov, případně na volnou plochu nebo na technické stavby jako např. protihlukové bariéry.

Obrázek 6: Detail solárního panelu s elektronikou. (Výstava: Wels, Rakousko.)

přehled zařízení

Pro využití elektrické energie ze solárních panelů je potřeba připojit k panelu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky - např. **akumulátorovou baterii, regulátor dobíjení, napěťový střídač, indikační, zobrazovací, komunikační a měřící přístroje, případně automatické sledovače Slunce**. Sestava fotovoltaických panelů, podpůrných zařízení, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá **fotovoltaický (solární) systém**. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace.

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off), tzv. **ostrovní systémy**, jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat elektrickou přípojku (náklady na vybudování a provoz přípojky jsou vyšší než náklady na fotovoltaický systém; cca od vzdálenosti k rozvodné síti více než 500 - 1000 m, vždy nutno potvrdit individuálně). Výkony se pohybují v intervalu 1 W_p - 10 kW_p špičkového výkonu (typicky 50 resp. 100 W_p). Je zde kladen důraz na minimální ztráty energie a na používání energeticky úsporných spotřebičů.



Obrázek 7: Schéma zapojení ostrovního systému.

Investiční náklady na ostrovní systémy jsou v rozmezí 30 - 45 000 Kč/m^2, což zhruba představuje 270 - 400 Kč/W_p.

Systémy nezávislé na rozvodné síti lze rozdělit na systémy s **přímým napájením**, systémy **s akumulací** elektrické energie a **hybridní** ostrovní systémy.

Systémy s přímým napájením se používají tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení je funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče.

Příklad aplikace: čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů - mobilní telefon, svítilna atd.

Systémy s akumulací elektrické energie se používají tam, kde potřeba elektřiny nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto ostrovní systémy akumulátorové baterie. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V) a běžné síťové spotřebiče 230 V/~50 Hz napájené přes napěťový střídač.

Příklad aplikace: zdroj elektrické energie pro chaty, penziony a rodinné domy, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, zahradní svítidla, světelné reklamy, camping a jachting.

Hybridní ostrovní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy navrhovat i na zimní provoz, což má za následek zvýšení instalovaného výkonu systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou proto je rozšíření systému **doplňkovým zdrojem elektřiny**, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým zdrojem může být větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod.

Příklad aplikace: rozsáhlejší systémy pro napájení budov s celoročním provozem.

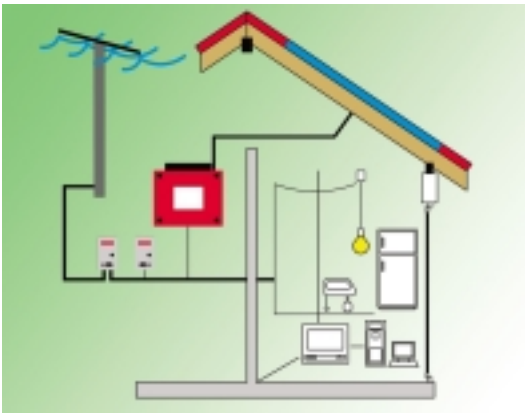
Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on), tzv. síťové fotovoltaické systémy, se nejvíce uplatňují v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeny vlastní "sluneční" elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána.

Systémy tohoto typu fungují zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí kW_p až desítky MW_p. Fotovoltaické panely jsou potom většinou integrovány do obvodového pláště budov.

Převážná většina dnes budovaných fotovoltaických zdrojů elektrické energie v průmyslových zemích je připojena k rozvodné síti. V České republice je také již realizováno několik desítek systémů tohoto typu.

Příklad aplikace: střechy rodinných domů 1 - 10 kW_p, fasády a střechy administrativních budov 10 kW_p - 1 MW_p, protihlukové bariéry v okolí dálnic, fotovoltaické elektrárny, posilovače koncových větví rozvodné sítě.

Investiční náklady na síťové systémy jsou v rozmezí 23 - 35 000 Kč/m^2, což zhruba představuje 200 - 350 Kč/W_p.



Obrázek 8: Schéma zapojení systému dodávajícího energii do rozvodné sítě.

výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Fotovoltaický systém pracuje nejlépe pokud je navržen pro skutečné místní podmínky (dimenzování, umístění solárních článků a způsob využití).

Pro dimenzování je důležité znát účel, uvažovanou spotřebu (výrobu) elektřiny, typ a provozní hodiny připojených spotřebičů, zda bude systém připojen do sítě či nikoliv, způsob napojení na doplňkový zdroj energie a další vstupní údaje:

- **počet hodin** slunečního svitu a **intenzita** slunečního záření, která se mění podle znečištění atmosféry (město, venkov, hory),
- **orientace** - ideální je na jih (případně s automatickým natáčením panelů za Sluncem),
- **sklon panelů** - pro celoroční provoz je optimální 45° vzhledem k vodorovné rovině,
- **množství stínicích překážek** - je nutný celodenní osvit Sluncem.

Z výše uvedených parametrů je možné stanovit množství vyrobené energie z celého systému za rok. Pro podrobnější výpočty existují již počítačové programy, např. firemní programy výrobců.

přehled nejvýznamějších systémů v ČR

č.	instalace	instalovaný výkon (kW_p)	rok	financování
1	Fotovoltaická elektrárna na hoře Mraveneční v Jeseníkách	10	1998	ČEZ, a.s.
2	Fotovoltaické prodloužení fasády s barevnými solárními články na hotelu Panorama v Praze - Pankráci	6	12/1999	INCO-COPERNICUS; Komise EU a Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci podpory projektů výzkumu a vývoje
3	RD Praha-Zbuzany	1,1	11/2000	vlastník
4	Fotovoltaická elektrárna na budově ředitelství společnosti Pražská energetika, a.s. v Praze	2,5	2001	PRE, a.s.
5	RD Praha-Říčany	1,4	04/2001	vlastník
6	Chata, Kralupy nad Vltavou	0,9	05/2001	vlastník
7	Demonstrační instalace se sledovačem Slunce v Děčíně	1,2	07/2001	vlastník
8	ČVUT v Praze	3	2002	Státní fond životního prostředí; program Slunce do škol
9	Síť FV systémů na středních odborných školách po 1,2kW_p	32,4*	k 12/2002	Státní fond životního prostředí; program Slunce do škol; 27 systémů
10	Síť FV systémů na základních a středních školách po 0,2 kW_p	8*	k 12/2002	Státní fond životního prostředí; program Slunce do škol; 40 systémů
11	Síť FV systémů na základních a středních školách po 0,1 kW_p	2,8*	k 12/2002	Státní fond životního prostředí; program Slunce do škol; 28 systémů

** souhrnný instalovaný výkon systémů dané velikosti*

Není-li uvedeno, jedná se vždy o fotovoltaický systém připojený k rozvodné síti.

V rámci podpůrného programu Slunce do škol bylo ke konci roku 2002 v přípravě nebo ve fázi realizace 5 fotovoltaických systémů po 20 kW_p.

Program Slunce do škol je zaměřen na podporu alternativních zdrojů energie a na získání základních zkušeností u mladé generace. Finanční podpora je poskytována pro fotovoltaické systémy připojené k rozvodné síti ve třech velikostech:

- systémy FVS200 s výkonem 0,11 kW_p a 0,22 kW_p jsou určeny pro základní školy a vyšší školy mimo elektro obory,
- systémy FVS2001 s výkonem 1,2 kW_p jsou určeny pro odborné střední školy (elektrotechnické, stavební apod.),
- pro vysoké školy technického zaměření jsou určeny fotovoltaické systémy s výkonem od 3 kW_p.

Program byl vyhlášen Státním fondem životního prostředí v roce 2000, ale první systémy byly nainstalovány až v roce 2001.

použitá a doporučená literatura

[1] Krieg, B.: Elektřina ze slunce. HEL, Ostrava, 1993.

[2] Vaníček, K. a kol.: Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 - 1993. Národní klimatický program České republiky, Praha, 1994.

[3] Vaníček, K., Čeněk, J., Reichrt, J.: Sluneční záření na území ČSSR. MLVH ČSR ve spolupráci a DT ČSVTS Pardubice, Pardubice, 1985.

Vydal:
EkoWATT, středisko pro obnovitelné zdroje a úspory energie
Bubenská 6, 170 00 Praha 7
tel.: +420 266 710 247
fax: +420 266 710 248
e-mail: ekowatt@ekowatt.cz
http://www.ekowatt.cz, www.energetika.cz

Autoři textů: Jiří Beranovský, Karel Srdečný, Jan Truxa
Spolupráce: Radim Bařinka, František Hrdlička, Evžen Přibyl, Libor Šamánek, Jiří Vašíček, Jaroslav Knápek
Grafický návrh: Irena a Saša Mandić
Realizace: Helvetica & Tempora, spol. s r. o., Pod Kaštany 8, Praha 6

© EkoWATT, 2002

Podrobnější informace lze získat také v celostátní síti Energetických informačních a konzultačních středisek České energetické agentury (EKIS ČEA), jejichž seznamy jsou uveřejněny např. na internetové adrese http://www.ceacr.cz.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a byla zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2002 - část A. Byla vydána díky laskavé podpoře České energetické agentury a Nadace Partnerství.