

Fotovoltaika paradoxně přispívá ke zvyšování emisí škodlivin

V článku jsou shrnuty poznatky dokladující výši emisí, zejména oxidu uhličitého z klasických elektrárenských bloků v časových obdobích, kdy jsou centrálně odpojovány, aby fotovoltaické zdroje mohly být připojeny k síti. V tomto období odpojené zdroje jsou udržovány v záložním provozu tak, aby když nastane omezení slunečního svitu, mohly být znovu připojeny k přenosové soustavě a okamžitě pokrýt potřebu elektrické energie. Autoři popisují, jaký vliv na emise má právě provoz klasických elektráren v tomto záložním režimu (resp. "teplá rezerva").

1. ÚVOD

V intencích obecných snah a pravidel Evropského společenství motivovaných ochranou klimatu Země a ochranou životního prostředí je neustále zpracovávána celá řada pravidel týkajících se podpor výroby elektrické energie z obnovitelných energetických zdrojů [1-3]. Vedle vlastního využití obnovitelných zdrojů jejich dalším cílem je zajištění trvalého zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů a napomoci tak k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti. Přitom současně determinovat podmínky pro naplnění indikativního cíle ČR, pro kterou v roce 2010 podíl elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny byl stanoven EU ve výši 8 %, resp. vytvořit podmínky pro další zvyšování tohoto podílu po roce 2010 tak, aby v roce 2020 pokryl 13 % její potřeby energie.

Obnovitelné zdroje jsou zde determinovány jako „obnovitelné energetické zdroje nefosilního charakteru“ jako je energie slunečního záření, energie větru, geotermální energie, energie skládkového plynu, atd.

Princip přeměny energie

Přímá přeměna slunečního záření na elektrickou energii je realizovaná pomocí fotovoltaických článků. Tyto pracují na princi-

pu fotoelektrického jevu, kdy částice světla (fotony) dopadají na polovodičové solární články a svou energií z nich „vyřáží“ elektrony. Jejich polovodičová struktura usměrňuje jejich pohyb na dále využitelný stejnosměrný elektrický proud. S obdobnými základními stavebními prvky, tzn. solárními články, lze získat aplikace od velmi malých výkonů (náramkové hodinky) až po elektrárny s výkony v oblasti megawatt.

Panely

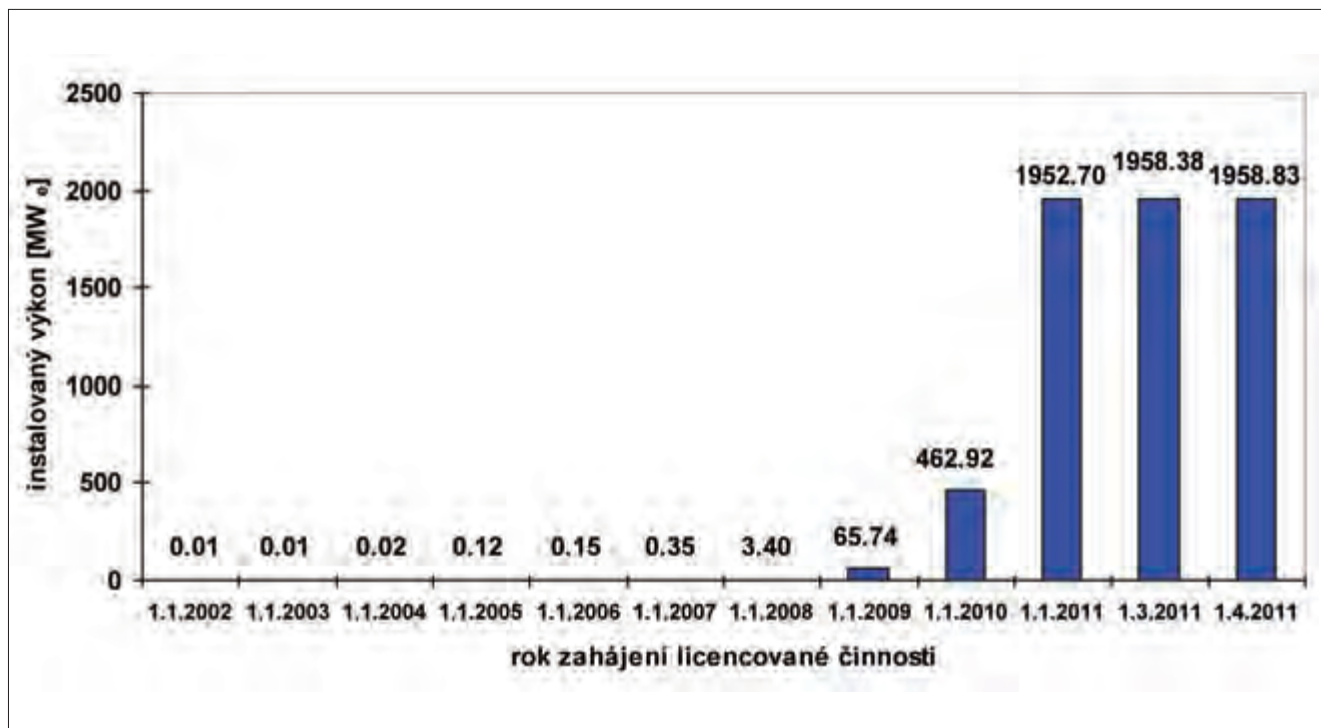
V současném období jsou nejvíce instalovány solární články vyráběné z krystalického křemíku ve formě monokrystalu, které mají účinnost cca 14 až 17 %, resp. polykrystalu o účinnosti 12 až 15 %. Protože jejich výkon závisí na okamžitém slunečním záření, udává se tento jako tzv. špičkový, tedy při dopadajícím záření o intenzitě 1 000 W/m² při definovaném spektru. Článek s účinností 17 % při ploše 1 m² má špičkový výkon 170 W. Průměrný počet hodin solárního svitu se u nás pohybuje okolo 1 450 h/rok, přičemž nejmenší počet hodin má severo-západní část území.

Sériovým nebo paralelním elektrickým spojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření fotovoltaický panel, přičemž jejich propojení musí být realizováno tak, aby bylo dosaženo potřebného napětí a proudu.

Systémy připojení fotovoltaických zdrojů k síti se realizují převážně dvěma způsoby. Při prvním, obecně označovaném jako „grid on“, se jedná o dodávku elektrické energie do distribuční sítě, a to za použití střídače přeměňujícího stejnosměrný proud na střídavý. Druhý systém „grid off“ je tzv. ostrovní systém. Tento se aplikuje v místech, kde není k dispozici elektrický proud ze sítě.

Hodnota instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren se k 1. dubnu 2011, na něž Energetický regulační úřad vydal licenci, blíží 2 000 MWe, viz obr. 1 a [4]. Vlastní hodnota instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren připojených do přenosové soustavy a distribučních soustav byla však ke konci února 2011 nižší a pohybovala se těsně pod hranici 1 900 MW. Celkový počet aktivních licencovaných provozoven v ČR využívajících sluneční záření k výrobě elektrické energie je uveden na obrázku 2.

Již ze samotné podstaty fotovoltaického jevu je zřejmé, že připojovaný výkon fotovoltaických elektráren je přímo odvislý od intenzity slunečního záření, tzn., že závisí jak na ročním období, tak na počasí a denním světle. Z titulu obnovitelných zdrojů, resp. související legislativy jsou fotovoltaické elektrárny připojovány k síti přednostně, přičemž klasické zdroje jsou současně odpojovány a převáděny do teplé rezervy, resp. jejich



Obr. 1 – Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren

Poznáme svet a svet pozná nás



Pôsobíme v energetike 60 rokov.

Referencie vo viac ako 450-tich projektoch v 55 štátoch.

Projekty kotlov a kotolní pre elektrárne, teplárne a spal'ovne odpadov.

Tlakové systémy kotlov rozhodujúca súčasť výrobného programu.

Ponúkame:

- Komplexné dodávky (inžiniering, výroba, montáž, uvádzanie do prevádzky).
- Silné inžinierske kapacity.
- Vlastné montážne kapacity, ktoré patria medzi najväčšie v Európe.

V Českej republike realizujeme významné projekty:

- Elektrárna Ledvice, výroba tlakových systémov a montáž kotla s nadkritickými parametrami.
- Elektrárna Počerady, dodávka kotlov pre paroplynový cyklus.
- Sokolovská uhelní, a.s., Vřesová, projekt zníženia emisií.

**SKUPINA SES TLMAČE VÁS POZÝVA
NA 53. ROČNÍK MEDZINÁRODNÉHO
STROJÁRSKEHO VEĽTRHU V BRNE**

pavilón „Z“, expozícia č.12.
3. - 7. 10. 2011

ses tlmače

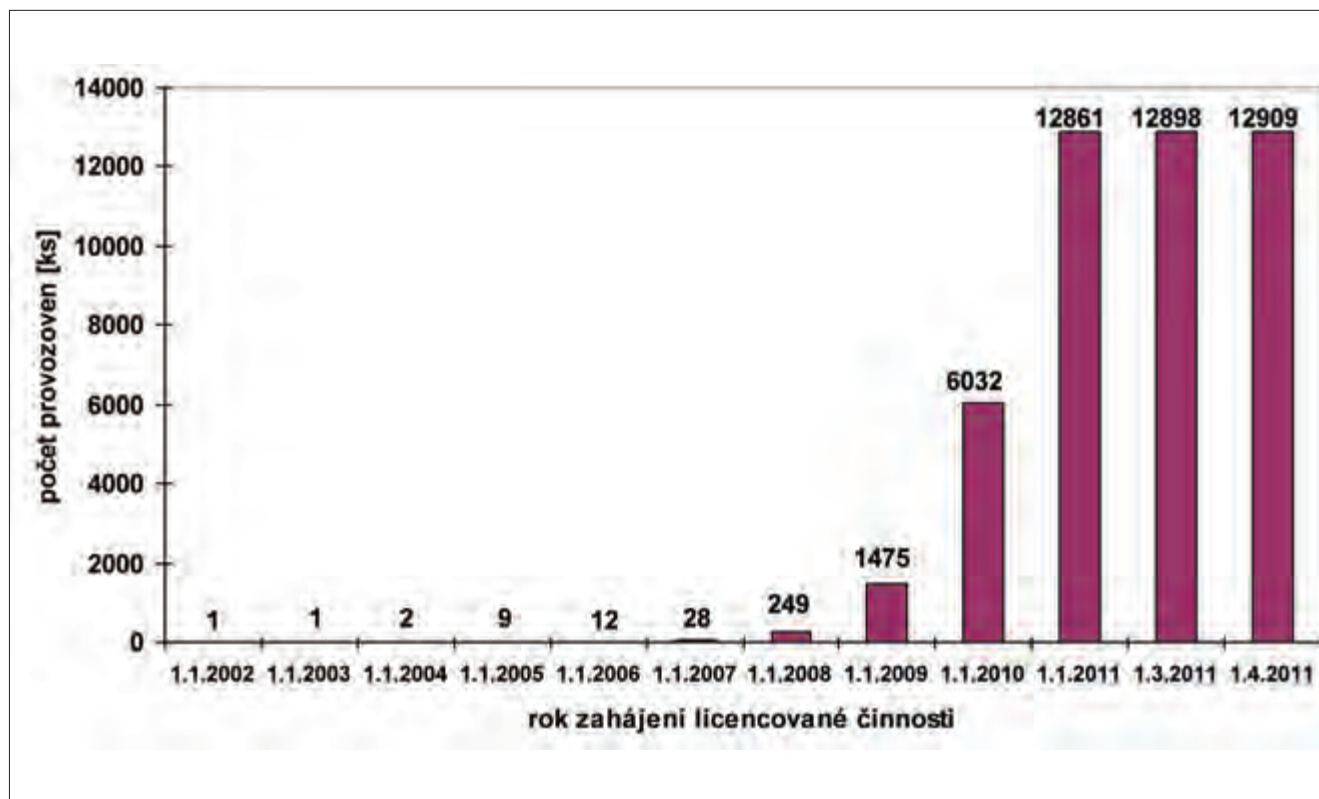
SLOVENSKÉ ENERGETICKÉ STROJÁRNE a.s.
Továrenská 210, 935 28 Tlmače, Slovensko

www.ses.sk

60 ročná existencia firmy
je kronikou presadenia sa
v silnej konkurencii
na svetovom trhu

60

1951 – 2011



Obr. 2 – Počet aktivních licencovaných provozoven

výkon je regulovaně snižován. Jedním z hlavních důvodů jejich přednostního připojování je tvrzení, že fotovoltaika, na rozdíl od zdrojů spalujících fosilní palivo jako je uhlí, je „bezemisní“. Při její exploataci není do ovzduší vypouštěn tolik dnes sledovaný skleníkový plyn – oxid uhličitý, resp. další polutanty jako jsou oxidy síry, dusíku, oxid uhelnatý či tuhé znečišťující látky, atd. Jak dokumentuje následující text, toto tvrzení v kontextu jejich provozu však neodpovídá současné technické praxi.

2. TEPLÁ REZERVA

2.1 Roštový kotel bez společného parního kolektoru

Jedním z opatření centrální regulace služeb souvisejících s dodávkou elektrické energie z fotovoltaických elektráren v případě dostateč-

spálí hodinově 73 tun hnědého uhlí, za pět hodin 365 tun.

Výpočtem z hmotnostní bilance uhlíku pro reakce spalování (tab. 1) zjistíme, že za toto sledované časové období hmotnost oxidu uhličitého vypuštěného do ovzduší 200 MWe blokem činí cca 341 tun. V případě 1 000 MW to představuje 1 706 tun, při celém nyní instalovaném výkonu fotovoltaických elektráren to bude cca 3 343 tun CO_2 .

Během provozu kotle v systému teplé rezervy s ohledem na charakter provozu se odpojuje od síření spalin, tzn., že veškerý obsah spalitelné síry z uhlí (tab. 1) prakticky přechází do emisí oxidu siřičitého. Výpočtem z výše uvedených dat tak zjistíme, že v období 5 hodinové teplé rezervy emise oxidu siřičitého u tohoto kotle představují 5,84 tuny, pro 1 000 MW tomu odpovídají 29,2 tuny a u celého instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren to bude cca 57 tun SO_2 .

Rostou i emise dalších škodlivin

K těmto základním emisním ukazatelům je však pro celkovou charakterizaci 200 MWe bloku potřebné přičíst i emise CO , TZL (tuhých znečišťujících látek) a NO_x (oxidů dusíku). Zde pro zjednodušení lze použít průměrná data kontinuálního monitoringu takového bloku. Emise TZL za průměrných pět hodin činí cca 0,05 tuny, CO 0,35 tuny a NO_x 1,91 tuny. Pro celý instalovaný výkon fotovoltaických elektráren to bude cca 0,49 tun TZL, 3,4 tun CO a 18,7 tun NO_x .

Při celkovém bilančním vyhodnocení je zde však ještě potřebné uvést, že z uvedeného množství uhlí vzniká ještě průměrně cca 15 % hm. vedlejších energetických produktů, které je v řadě

případů sládkováno za dodržení odpovídajících pravidel. U bloku o výkonu 200 MWe to představuje za pět hodin např. cca 50 tun filtrového a ložového popela, resp. škváry.

2.2 Roštový kotel se společným parním kolektorem

V případech, kdy více kotlů má společný parní sběrač a jeden z nich je převeden do teplé rezervy, je tento kotel plně uzavřen a ostatní kotle (kotel) jsou přepojeny do režimu, který umožňuje prostřednictvím části produkované páry utlumenou jednotku vyhřívát. Spotřeba uhlí k této činnosti se v tomto případě pohybuje asi na 20 % maximálního výkonu 200 MWe kotle. Tzn., že emise všech polutantů proti předcházejícímu případu budou $2,25 \times$ nižší. U oxidu uhličitého pro 200 MWe blok to přesto představuje cca 151,5 tun.

2.3 Snižování výkonu roštového kotle

Další možností, pomocí které se řeší odpojení klasických energetických bloků prostřednictvím centrálního dispečinku při vstupu fotovoltaických zdrojů do sítě, je snížení výkonů různých kotlů. Snižili-li se např. výkon 200 MWe bloku na 150 MWe, klesne účinnost využití uhlí ve spalovacím procesu o 3 %, celkově při průměrné hodinové spotřebě 180 tun uhlí na kotli o výkonu 200 MW (160 tun odpovídá celkovému ročnímu průměru, kde jsou zahrnuty provoz při sníženém výkonu, najždění, odstavení), to odpovídá 5,4 tunám uhlí. Při pěti hodinách provozu vznikne 29 tun oxidu uhličitého ($5 \times 5,4 \text{ t} \times 11 \text{ (GJ/t)} \times 99,3 \text{ (kgCO}_2\text{/GJ)/1000}$). V případě takto omezených výkonů kotlů o 1 000 MWe by emise oxidu

Prvek	Obsah
Cd	50,5
Hd	5,1
Nd	0,9
S ^d , *	0,8

d .. suchý, * .. spalitelná

Tab. 1 – Charakteristika hnědého uhlí - % hm

ného solárního svitu je odpojení klasických elektrárenských bloků spalujících u nás hnědé uhlí a jejich uvedení do tzv. teplé rezervy. V tomto časovém období trvajícím až pět hodin 200MWe, blok s roštovým topeništěm spálí průměrně 45 % hm. hnědého uhlí o parametrech uvedených v tabulce 1 oproti průměrnému výkonu. Průměrně v tomto období takový kotel

uhličitého představovaly $29 \times 20 = 580$ tun. Je potřeba zde ale upozornit, že uvedený příklad se týká obecného vyjádření a může se u jednotlivých kotlů z pohledu celé naší soustavy i vzhledem k zásahům dispečinku lišit.

2.4 Najetí roštového kotle

Uvedení odstaveného kotle z teplé rezervy do stavu, kdy bude schopen být zapojen do pře-

Prvek	Obsah
C	86,5
H	13,5

Tab. 2 – Charakteristika motorové nafty - % hm

nosových a distribučních soustav trvá průměrně cca dvě hodiny. Vyhřátí na odpovídající parametry je v té době v mnoha případech prováděno pomocí hořáků spalujících motorovou naftu za současného dávkování uhlí. 200 MWe kotel má obvykle zabudovány čtyři hořáky, z nichž každý průměrně hodinově spaluje cca 425 litrů motorové nafty o průměrných parametrech uvedených v tabulce 2, tzn., že celkem během dvou hodin se spálí cca 2 800 kg. Současně se v této době do kotle dává hnědé uhlí. Toto množství se pohybuje okolo 3 až 4 kg/sec, celkem za dvě hodiny tedy cca 22 tun.

Opět výpočtem z hmotnostní bilance uhlíku (tab. 1 a 2) zjistíme, že během startu 200 MWe bloku hmotnost oxidu uhličitého vypuštěného do ovzduší činí cca 59 tun. V případě 1 000 MWe to představuje 295 tun, při celém instalovaném výkonu fotovoltaických elektráren to bude cca 578 tun CO_2 .

Množství oxidů dusíku vzniklé při dvouhodinovém spalování motorové nafty v 200 MWe bloku

lze prostřednictvím emisních faktorů uvedených v [5] odhadnout na 14 kg, oxidu uhelnatého na 2 kg, emise TOC (organických uhlovodíků) na 1 kg, TZL na 4 kg. Při přepočtu na výkon 1 000 MW tyto emise pak budou $5 \times$ vyšší.

2.5 Najetí fluidního kotle

Dalším typickým příkladem může být snížení výkonu fluidního kotle o výkonu cca 50 MWe a 150 MWt zapojeného do městského teplotního režimu. Opětovné uvedení tohoto energetického zdroje do plného výkonu po regulovaném snížení produkce elektrické energie na 50 % výkon spotřebuje průměrně 12,3 tun hnědého uhlí o parametrech uvedených v tabulce 1 a 5,6 tun motorové nafty.

Spálením uvedené hmotnosti motorové nafty vznikne 15,3 tun oxidu uhličitého a z uhlí 11,5 tun oxidu uhličitého a 0,2 tuny oxidu siřičitého. Množství oxidů dusíku vzniklé při spalování motorové nafty v tomto případě lze prostřednictvím emisních faktorů uvedených v [5] odhadnout na 28 kg, oxidu uhelnatého na 4 kg, emise TOC na 1,9 kg, TZL na 7,4 kg. Dalším produktem spalování hnědého uhlí budou ještě i cca dvě tuny vedlejších produktů, které bude nutné deponovat.

V případě, že polovina instalovaného již výkonu ve fotovoltaice, tj. 1 000 MWe, bude po ukončení slunečního svitu nahrazena uvedením do plného výkonu obdobných zdrojů omezených ve výkonech na 50 %, celkové emise oxidu uhličitého z tohoto opatření budou cca 1 072 tun, oxidu siřičitého pak 8 tun, atd.

3. ZÁVĚR

Ze sestavených bilančních dat jednoznačně vyplývá, že fotovoltaické elektrárny přednostně zapojujované do přenosových sítí, nejsou zdaleka

tak ideálními energetickými technologiemi jak jsou obecně popisovány. Jejich provoz v období dostatečného slunečního svitu je totiž logicky spojen s energetikou na bázi fosilních paliv, která v době zapojení fotovoltaických elektráren do sítě nevyrábí elektrický proud, ale přesto vypouští v záložním režimu nemalé množství emisí oxidu uhličitého a dalších polutantů. Obdobné závěry musí platit i pro větrné elektrárny. Bylo by proto logické tyto emise do činnosti těchto obnovitelných zdrojů promítnout a nepřisuzovat je jenom zdrojům spalujících fosilní paliva jakým je hnědé uhlí.

PODĚKOVÁNÍ

Část výzkumných prací presentovaná v tomto sdělení byla realizována s podporou projektu MŠMT ČR 604 613 7304.

LITERATURA

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/77/ES z 27. září 2001 o podpoře elektrické energie z obnovitelných zdrojů na vnitřním trhu s elektrickou energií.
- [2] Zákon ČR č. 458/2001 Sb. O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích.
- [3] Zákon ČR č. 180/2005 Sb. o podpoře elektrické energie z obnovitelných zdrojů.
- [4] <http://www.eru.cz>, 19. 4. 2011.
- [5] Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. z 3. 7. 2002.

Prof. Ing. Petr Buryan, DrSc.,

Vysoká škola chemicko-technologická Praha,
buryanp@vscht.cz

Ing. Pavel Donát,

ČEZ Energetické produkty, s.r.o.

Photovoltaics is paradoxically contributing to higher emissions

The article summarises the knowledge which provides evidence of higher emissions, mostly carbon dioxide, from conventional power plant blocks over periods when the blocks are shut down on a central basis, so that photovoltaic sources can be connected to the grid. Over this period, the disconnected sources are maintained in back-up operation, so that they can be re-engaged in the transmission system and cover the current need for power whenever there is a lack of sunshine. The authors of this article describe the impact on emissions created by conventional power plants running in back-up mode (and/or "hot reserve").

Парадоксально, но факт: солнечные батареи помогают повышению выброса в атмосферу вредных веществ

В статье приведены данные, подтверждающие уровень выброса в атмосферу вредных веществ, в том числе двуокиси углерода из классических блоков электростанций в то время, когда они должны быть остановлены для того, чтобы дать возможность присоединить к сети солнечные электростанции. В этот период отключённые от сети станции удерживаются в запасном режиме так, чтобы как только будет недостаток солнечного света они опять могли быть подсоединены к электрической сети и моментально смогли бы покрыть недостаток электроэнергии. Автор описывает, какое влияние на выброс в атмосферу вредных веществ имеет эксплуатация классических электростанций в этом запасном режиме.

