

## FOTOVOLTAICKÉ ZDROJE A EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ

Petr Buryan<sup>1</sup>, Pavel Donát<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VŠCHT Praha, Ústav plyných a pevných paliv a ochrany ovzduší,  
Technická 5, 166 28 Praha 6, buryanp@vscht.cz

<sup>2</sup> ČEZ Energetické produkty, s.r.o.

V článku jsou uvedeny údaje dokládající množství emisí, zejména oxidu uhličitého, vypouštěné do ovzduší z klasických elektrárenských bloků v časových obdobích, kdy jsou centrálně odpojovány z elektrické distribuční sítě, protože do této sítě jsou přednostně připojeny fotovoltaické zdroje elektrické energie. Nutnost udržování klasických elektrárenských bloků spalujících fosilní paliva v záložním provozu je nezbytná proto, aby mohla být podle pokynů regulátora rychle pokryta spotřeba elektrické energie v případech náhlých a neočekávaných výkyvů poptávky, např. když nastane omezení slunečního svitu.

Došlo 21. 11. 2019, přijato 20. 12. 2019

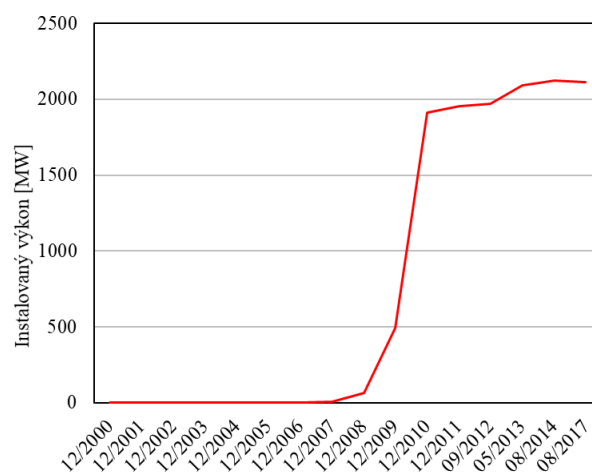
### 1. Úvod

V důsledku neustálého úsilí motivovaného ochranou klimatu byla vypracována celá řada pravidel a regulací zaměřených na podporu výroby elektrické energie z obnovitelných energetických zdrojů [1-5]. Vedle vlastního využití obnovitelných zdrojů je jejich neméně významným cílem zajištění trvalého zvyšování jejich podílu na produkci primárních energetických zdrojů a tím napomoci trvale udržitelnému rozvoji. Podle údajů zveřejněných MPO byl v roce 2016 podíl hrubé výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů na celkové hrubé výrobě elektrické energie v ČR na hodnotě 11,3 %. Současně by měly být vytvářeny podmínky pro zvyšování tohoto podílu tak, aby v ČR v roce 2020 pokrýval 13 %. Obnovitelné zdroje jsou v těchto dokumentech determinovány jako obnovitelné energetické zdroje nefosilního charakteru, jakými jsou fotovoltaické, větrné či vodní elektrárny, biomasa, atd.

Systémy připojení solárních zdrojů k elektrické síti se realizují v zásadě dvěma způsoby. V prvním, obecně označovaném jako grid on, se jedná o dodávku elektrické energie do elektrické sítě za použití střídače přeměňujícího stejnosměrný proud na střídavý. Druhý systém – grid off, tzv. ostrovní systém, je provozován v lokalitách, kde není nyní dostupný elektrický proud z centrální rozvodné sítě.

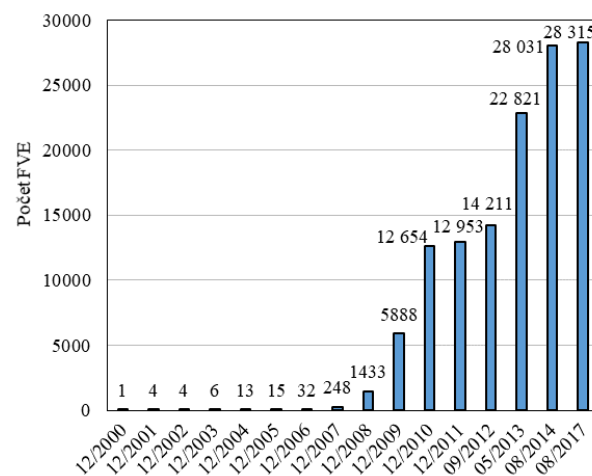
Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR v srpnu 2017 dosáhl 2 110 MW<sub>e</sub> – viz obr. 1 [6]. Počet všech fotovoltaických elektráren u nás v tomto období byl 28 315 – obr. 2, přičemž jejich počet o výkonu vyšším než 1MW činil jen 519 – obr. 3. Pět největších z nich uvádí tabulka 1 [7, 8]. Vlastní spotřeba solárních elektráren na výrobu elektrického proudu činí 0,9 % – viz tabulka 2 [8 - 10].

Z vyhodnocení dostupných dat týkajících se rozlohy uvedených fotovoltaických elektráren v tabulce 2 pro instalovaný výkon >1 MW je zapotřebí rozloha cca 1,6 ha. Nejvyššího výkonu dosáhly fotovoltaické elektrárny letos 6. května ve 13 hodin a to ve výši cca 1600 MW. Obdobný výkon byl dosažen 25. a 26. května. Naproti tomu v lednu a únoru byl nejvyšší výkon 350 MW.

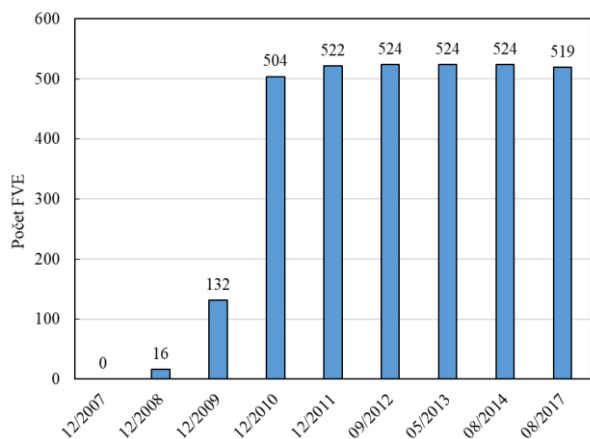


Obr. 1. Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR mezi lety 2000 a 2017

Fig. 1. Installed capacity of photovoltaic power plants in the Czech Republic [MW]



Obr. 2. Počet fotovoltaických elektráren v ČR  
Fig. 2. Number of photovoltaic power plants in the Czech Republic



**Obr. 3.** Počet fotovoltaických elektráren v ČR o výkonu vyšším než 1 MW

**Fig. 3.** The number of photovoltaic power plants in the Czech Republic with an output of more than 1 MW

**Tab. 1** Největší fotovoltaické elektrárny v ČR

**Tab. 1** The largest photovoltaic power plants in the Czech Republic

Název	Místo	Instalovaný výkon [MW]	Rozloha [ha]
Ralsko Ra 1	Ralsko	38,3	29,3
Vepřek	Nová ves Vepřek	35,1	82,5
Ševětín	Ševětín	29,9	60
Brno Letiště Tuřany	Brno	21,1	40
Mimoň Ra 3	Mimoň	17,5	

**Tab. 2.** Vlastní spotřeba na výrobu elektrické energie

**Tab. 2.** Own consumption for electricity production

Zdroj	Vlastní spotřeba (%)
oleje	15,2
hnědé uhlí	9,6
biomasy	9,2
černé uhlí	7,9
bioplyn	7,5
skládkový plyn	6,0
jaderná elektrárna	5,7
zemní plyn	3,9
ostatní plyny	3,6
solární elektrárna	0,9
větrná elektrárny	0,9
vodní elektrárny	0,8

\*) jako relativní podíl z celkového množství vyrobené elektrické energie daným zdrojem

V tomto kontextu je vhodné porovnat uvedené údaje s typickou brutto denní spotřebou České republiky, která o období 7 – 17 hod se pohybuje od 6000 do 7500 MW [12, 13].

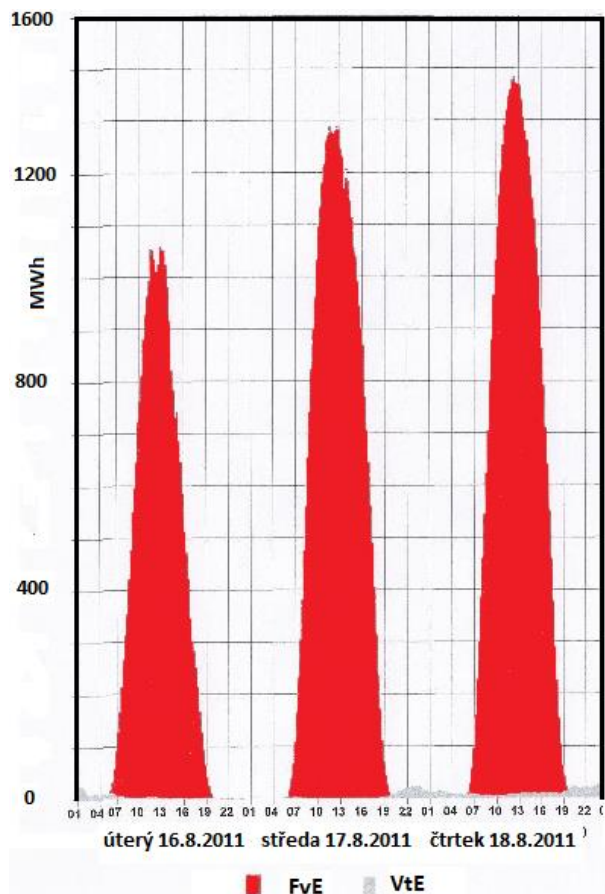
Výroba elektrické energie ze solárních elektráren je v současnosti neekonomická. Je ale společensky a politicky z mnoha důvodů žádaná. Proto byly v řadě zemí schváleny zákony, na jejichž základech jsou fotovoltaické elektrárny provozovány. V ČR přímá podpora fotovoltaických elektráren v intencích zákonů o podpoře využívání obnovitelných zdrojů [4, 5] v roce 2019 bude činit 29 miliard Kč, tj. cca 2,4 miliardy/měsíc. Vedle přímé podpory se v praxi uplatňuje významně i podpora nepřímá. Plán na rok 2020 je 23 miliard Kč.

Již ze samotné podstaty fotovoltaického jevu je zřejmé, že připojovaný výkon fotovoltaických elektráren je přímo úměrný intenzitě slunečního záření, tzn. že závisí na vlivu mnoha faktorů, zejména na ročním období, počasí, teplotě a denním světle. Ve výrobě fotovoltaické energie se však uplatňují i mnohé dynamické závislosti celého systému – parametry různých komponent, orientace a sklon panelů, stínící efekty at' už jednotlivých řad panelů, tak horizontu, spektrální ztráty, ztráty a zisky odrazem, ztráty z rozdílných výkonových parametrů panelů, atd.

Podle platné legislativy o obnovitelných zdrojích musí být solární elektrárny připojovány k distribuční síti přednostně. Pokud je v této době do sítě dodáván přebytek energie, musí být klasické zdroje odpojovány, resp. jejich výkon je regulovaně omezován nebo jsou převáděny do tzv. teplé rezervy.

Jedním z důvodů přednostního připojování solárních zdrojů je tvrzení, že fotovoltaika, na rozdíl od zdrojů spalujících fosilní paliva je „bezemisní“. Při jejím využívání není do ovzduší vypouštěn skleníkový plyn - oxid uhličitý, resp. další látky znečišťující ovzduší jako jsou oxidy síry, dusíku, oxid uhelnatý, tuhé znečišťující látky, atd. Jak dokládá následující text, toto tvrzení v kontextu s jejich běžným provozem ale neodpovídá provozní praxi.

Přednostní připojování solárních zdrojů zahrnuje velkou variabilitu celkového připojovaného výkonu elektráren spalujících uhlí. V navazujícím textu jsou proto shrnuta data pro různá okamžitá operativní řešení respektujících aplikovaná různá omezení zdrojů spalujících uhlí při reálné denní spotřebě České republiky. Aplikovaná opatření jsou realizována Centrálním dispečinkem, který respektuje konkrétní situaci spotřeby ve vazbě na výkony elektrárenských provozů. Při těchto opatřeních musí být zejména řešena časová změna výkonu fotovoltaických elektráren, vlivy počasí, odběrové špičky, atd. – viz obr. 4.



Obr. 4 Průběh výroby fotovoltaické a větrné energie v ČR

Fig. 4 Production proces photovoltaic and wind energy in Czech Republic

## 2. Teplá rezerva a omezování výkonu

### 2.1. Roštový kotel bez společného parního kolektoru

Jedním z opatření centrální regulace služeb souvisejících s dodávkou elektrické energie z fotovoltaických elektráren v případě dostatečného solárního svitu je odpojení elektrárenských bloků spalujících hnědé uhlí a jejich převedení do tzv. teplé rezervy. V tomto časovém období dosahujícího v běžném provozu až pěti hodin 200 MW<sub>e</sub> blok s roštovým topeništěm spálí průměrně 45 % množství hnědé uhlí (při porovnání se stavem, kdy pracuje na plný výkon a dodává energii do sítě) o parametrech uvedených v tabulce 3 oproti průměrnému výkonu. Průměrně v této době takový kotel spálí hodinově 81 t hnědé uhlí (obsah vody 21,34 % hm, obsah popela 11,3 % hm), za pět hodin 365 t [12, 13].

Tab. 3. Charakteristika hnědé uhlí - % hm.

Tab. 3. Characteristics of brown coal - % wt

Prvek	C <sup>a</sup>	H <sup>a</sup>	N <sup>a</sup>	S <sup>a*)</sup>
Obsah	50,5	5,1	0,9	0,8

\*)..spalitelná

Výpočtem z hmotnostní bilance uhlíku pro spalovací reakce za pomoci dat tabulky 3 zjistíme, že za pět hodin průměrná hmotnost CO<sub>2</sub> vypuštěného do ovzduší 200 MW<sub>e</sub> blokem činí cca 341 t. Při zahrnutí do výpočtu vlastní spotřeby hnědé uhlí dle tabulky 2 to odpovídá 374 t. Při pokrytí 50 % v současnosti instalovaného výkonu všech fotovoltaických elektráren to bude cca 1972 t. Při četnosti tohoto technologického stavu 1 x za týden po dobu 3 letních měsíců emise CO<sub>2</sub> to činí 23 664 t.

Během provozu kotle v systému teplé rezervy s ohledem na charakter provozu se odpojuje odsíření spalin, tzn. že veškerá spalitelná síra z uhlí prakticky přechází do emisí oxidu siřičitého (cca 5 % do oxidu sírového). Výpočtem z výše uvedených dat tak zjistíme, že v období 5hodinové teplé rezervy emise oxidu siřičitého u tohoto kotle představují 5,84 t, u 50 % instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren to bude cca 28 t SO<sub>2</sub>.

K těmto základním emisním ukazatelům je potřebné pro celkovou charakterizaci 200 MW<sub>e</sub> bloku přičíst dále emise CO (oxidu uhelnatého), TZL (tuhých znečišťujících látek) a NO<sub>x</sub> (oxidů dusíku). Zde pro zjednodušení lze použít průměrná data kontinuálního monitoringu emisí takového bloku. Emise TZL za průměrných pět hodin činí cca 0,05 tuny, CO 0,35 t a NO<sub>x</sub> 1,91 t. Pro 50 % instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren to bude cca 0,24 t TZL, 1,7 t CO a 9,3 t NO<sub>x</sub>.

### 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 vyhřívat. Spotřeba uhlí k temperaturaci odpojené jednotky se v tomto případě pohybuje asi na 20 % maximálního výkonu 200 MW<sub>e</sub> kotle. Tzn. že emise všech polutantů proti předcházejícímu případu budou 2,25 x nižší. U oxidu uhličitého pro 200 MW<sub>e</sub> blok to přesto představuje cca 151,5 t.

### 2.3. Omezení výkonu roštového kotle

Další možností, pomocí které se řeší přednostní zapojení fotovoltaických zdrojů prostřednictvím centrálního dispečinku při přednostním vstupu fotovoltaických zdrojů do sítě, je snížení výkonů různých kotlů spalujících fosilní paliva. Sníží-li se např. výkon 200 MW<sub>e</sub> bloku na 150 MW<sub>e</sub>, klesne účinnost využití uhlí ve spalovacím procesu o 3 %, celkově při průměrné hodinové spotřebě 180 t uhlí na 200 MW<sub>e</sub> (180 t odpovídá celkovému ročnímu průměru, kde jsou zahrnuty provoz při sníženém výkonu, najíždění, odstavování) to odpovídá 5,4 tunám uhlí. Při 5 hodinách provozu vznikne 29 tun oxidu uhličitého. V případě takto celkem omezených výkonů kotlů o 1000 MW<sub>e</sub> by emise oxidu uhličitého představovaly 580 tun. Je potřebné 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. Uvedení roštového kotle do produkčního stavu

Uvedení odstaveného kotle z teplé rezervy do stavu, kdy bude schopen být zapojen do přenosových a distribučních soustav trvá průměrně cca 2 hodiny. Vyhrátí na odpovídající parametry je v té době v mnoha případech prováděno pomocí hořáků spalujících motorovou naftu za současného dávkování uhlí. 200 MW<sub>e</sub> kotel má obvykle zabudovány 4 hořáky, z nichž každý průměrně hodinově spaluje cca 350 kg motorové nafty o průměrných parametrech uvedených v tabulce 4, tzn. že celkem během dvou hodin se spálí cca 2800 kg. Současně se v této době do kotle dávkuje hnědé uhlí. Jeho množství se pohybuje průměrně v rozmezí 3 - 4 kg/s, za dvě hodiny to odpovídá cca 22 tunám.

**Tab. 4.** Charakteristika motorové nafty - % hm

**Tab. 4.** Characteristics of diesel fuel - % wt

Prvek	C	H
Obsah	86,5	13,5

Z hmotnostní bilance uhlíku vyplývá, že během uvádění bloku 200 MW<sub>e</sub> do provozu hmotnost CO<sub>2</sub> vypuštěného do ovzduší v tomto případě představuje cca 59 tun. V případě 1 000 MW<sub>e</sub> to činí 295 tun, při celém instalovaném výkonu fotovoltaických elektráren to bude cca 622 tun CO<sub>2</sub>.

Množství oxidů dusíku vzniklé při dvouhodinovém spalování motorové nafty v 200 MW<sub>e</sub> 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 celkový výkon 1000 MW tyto emise pak budou 5 x vyšší.

#### 2.5. Uvedení fluidního kotle do produkčního stavu

Dalším příkladem často regulátorem realizovaným v technologické praxi při přednostním vstupu fotovoltaických zdrojů do sítě je snížení výkonu fluidních kotlů o výkonu cca 50 MW<sub>e</sub> a 150 MW<sub>t</sub> zapojených do městského teplárenského režimu. Opětovné uvedení tohoto energetického zdroje do plného výkonu po regulovaném snížení produkce elektrické energie na 50 % výkon spotřebuje průměrně 12,3 t hnědého uhlí o parametrech uvedených v tabulce 3 a 5,6 t 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, CO na 4 kg, emise TOC na 1,9 kg, TZL na 7,4 kg. Spálením hnědého uhlí vzniknou ještě i cca 2 tuny vedlejších produktů, které bude nutné deponovat, což je spojeno s dalšími emisemi.

V případě, že čtvrtina již instalovaného výkonu ve fotovoltaiice, tj. 500 MW<sub>e</sub>, bude po ukončení slunečního svitu nahrazena uvedením do plného výkonu obdobných zdrojů omezených ve výkonech na 50 %, celkové emise oxidu uhličitého budou cca 530 tun, oxidu siřičitého 4 tuny, atd.

### 3. Závěr

Přestože přímé dotace solárních elektráren u nás činí měsíčně několik miliard Kč, předložené bilance jednoznačně dokladují, že provoz fotovoltaických elektráren, které jsou zařazovány mezi „bezemisní“ zdroje a které jsou v současnosti přednostně připojovány do elektrické sítě, zdaleka není bezemisní. Jejich provoz v období dostatečného slunečního svitu musí být spojen s energetikou na bázi fosilních paliv, která v době dodávky energie ze solárních elektráren do sítě elektrický proud do této sítě sice nedodává, ale tyto zdroje provozované v záložním režimu produkují tisíce tun oxidu uhličitého a dalších polutantů. Nezanedbatelné problémy se stabilitou dodávek energie ze solárních zdrojů nastávají při změnách počasí, střídání ročních období, při přechodu bouřek, sněhových vánic, neočekávaných zahraničních vlivů - zejména z NSR, atd. Obdobné závěry platí i pro větrné elektrárny. Bylo by proto logické emise CO<sub>2</sub> ze záložních zdrojů zahrnout do činnosti těchto obnovitelných zdrojů elektrické energie a nepřisuzovat je výhradně zdrojům spalujících fosilní paliva jakým je hnědé uhlí. Není totiž možné při zajištění odpovídajícího zdárného provozu řady technologických celků zdroje elektrické energie spalující pevná fosilní paliva na dobu exploatace fotovoltaických elektráren je odstavit tak, že nebudou nežádoucí, dnes tolik sledovaný CO<sub>2</sub>, produkovat vůbec.

Při objektivním posuzování vztahu solárních elektráren a elektráren spalujících fosilní paliva je třeba zde uvést, že v zimních měsících a v období, kdy výkon fotovoltaických elektráren nepřesahuje několik procent instalovaného výkonu, činnost elektráren spalujících fosilní paliva pro zajištění odpovídající rozvoj životní úrovně je v současnosti nezbytná a nenahraditelná.

V národním klimaticko-energetické plánu vláda ČR do roku 2030 [14] předpokládá zvýšení podílu obnovitelných zdrojů v produkci elektrické energie do roku 2030 na 20,8 %. Evropská komise tento plán vyhodnotila jako málo ambiciózní a doporučila ho zvýšit na 23 %. S tím budou souviset i emise CO<sub>2</sub> při uvádění klasických energetických bloků do tzv. „teplé rezervy“ nebo bude i při jejich provozu uplatňována řada regulačních opatření.

V současnosti fungujícím, zdařilým a využívaným řešením diskutovaných problémů schopným vykrýt nestabilitu fotovoltaických energetických zdrojů je aplikace plynových turbín, resp. kogeneračních jednotek spalujících plyn. Jeden z příkladů takového možného řešení představuje výstavba nového paroplynového zdroje 840 MWe v Elektrárně Počerady [12]. Jejich uvedení do plného výkonu z klidového režimu je otázkou několika minut a navíc pro jejich uvedení do provozu lze využít elektrickou energii produkovanou i fotovoltaickými zdroji.

Pro širší integraci stoupajícího podílu obnovitelných zdrojů elektrické energie do elektrických sítí bude vhodné uplatňovat i více samospotřeby, více krátkodobé a střednědobé akumulace, více přeshraniční spolupráce a v dlouhodobém výhledu i více regulovatelné jaderné energetiky a více dálkově propojený jednotný energetický trh EU.

Pro objektivní posuzování přednostního uplatňování obnovitelných zdrojů by bylo vhodné, aby emise za dobu uplatňování omezení provozovatelé elektráren na fosilní paliva je kvantifikovali. Tyto by poté měly být uplatňovány vůči provozovatelům obnovitelných zdrojů. Do dané činnosti by měl být jako kontrolor zapojen provozovatel přenosové (distribuční) soustavy.

### 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, směrnice
2. EU č. 2009/28/EC.
3. Zákon ČR č. 458/2001 Sb. O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích.
4. Zákon ČR č. 180/2005 Sb. o podpoře elektrické energie z obnovitelných zdrojů.
5. Zákon ČR č. 165/2012 Sb. o podpoře elektrické energie z obnovitelných zdrojů.
6. <http://www.ceps.cz>, staženo 14. 10. 2018.
7. [https://cs.wikipedia.org/wiki/seznam\\_největších\\_fotovoltaických\\_elektráren\\_v\\_česku](https://cs.wikipedia.org/wiki/seznam_největších_fotovoltaických_elektráren_v_česku), 20. 10. 2019.
8. [https://www/elektrarny.pro/seznam\\_elektraren.php](https://www/elektrarny.pro/seznam_elektraren.php), staženo 30.10.2019.
9. [https://fotovoltaicka\\_elektrarna\\_Ralsko\\_Ra1](https://fotovoltaicka_elektrarna_Ralsko_Ra1), staženo 30.10.2019.
10. [https://www.elektřina.cz/vyroba\\_elektriny\\_v\\_cr](https://www.elektřina.cz/vyroba_elektriny_v_cr), staženo 30. 10. 2019.
11. <https://www.eru/elektřina.cz>, staženo 30.10.2019.
12. Buryan P., Donát P.: Zemní plyn – ideální palivo pro řešení nestability fotovoltaických elektráren, Plyn 91, (10) 258-262 (2011).
13. Buryan P., Donát P.: Fotovoltaika paradoxně přispívá ke zvyšování emisí škodlivin, All for Power 5, (3) 68-71 (2011).
14. <https://energetika.tzb-info.cz>, staženo 30.10.2019.

### Summary

#### *Photovoltaic sources and greenhouse gas emissions*

*Petr Buryan, Pavel Donát*

The article presents data documenting the amount of emissions, especially carbon dioxide, emitted into the air from conventional power plants during the periods when they are centrally disconnected from the electricity distribution network, as photovoltaic power sources are preferentially connected to this network. The need to keep conventional fossil fuel power plants in standby is essential so that, according to the regulator's instructions, electricity consumption can be quickly covered in the event of sudden and unexpected fluctuations in demand, eg when sunlight is reduced. In the national climate and energy plan, the Czech government expects the share of renewable sources to be increased to 20.8 % by 2030. The European Commission assessed the plan as not ambitious and recommended increasing the share of renewables to 23%. However, this will also be associated with a significant increase in CO<sub>2</sub> emissions when putting conventional energy blocks into the so-called “warm reserve”. A successful and usable solution of the discussed problems capable of covering the instability of photovoltaic wind energy sources is the application of gas turbines, resp. cogeneration units burning gas. One example of such a solution is the construction of a new 840 MWe Power plant Počeradý. Putting them into full power from the sleep mode is a matter of minutes and, in addition, they can be powered by renewable electricity.