

DISKUSE

VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY – KLIMATICKÁ POHROMA?

DAVID HANSLIAN a PAVEL SEDLÁK

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., Boční II 1401,
141 00 Praha 4
hanslian@ufa.cas.cz

Došlo 18.12.19, přijato 24.2.20.

Klíčová slova: větrné elektrárny, atmosférické srážky, klima, sucho

Úvod

Před nějakou dobou jsme byli redakcí časopisu Chemické listy upozorněni na sérii dvou úvodníků časopisu Chemické listy^{1,2}, které se zabývají tématem poněkud nečekaným, a to vlivem větrných elektráren na klima. Jejich základním motivem je obava ohledně ovlivnění srážkových poměrů v České republice výstavbou větrných elektráren v oblasti severního Německa a přilehlých regionů, tedy na severozápad od našeho území, přičemž autoři naznačují spojitost mezi výstavbou větrných elektráren a suchem posledních let. Oba úvodníky jsou laděny v poněkud alarmujícím duchu s poukazem na nedostatečný vědecký zájem o tuto problematiku a na potřebu, „aby se uvedenou otázkou včas zabývali odborníci různých vědních oborů, zejména ovšem oboru meteorologie a fyzika atmosféry“. To nám bylo inspirací podívat se blíže na současný stav vědomostí v této oblasti.

Otázky vlivu větrných elektráren na počasí a klima lze rozdělit do tří skupin. Jde o:

a) Vliv větrných elektráren na klimatické podmínky v jejich okolí. V praxi jde zejména o dopad na provoz okolních větrných elektráren (snížení rychlosti větru, turbulence), větrné elektrárny však mohou mít i jiné dopady na místní klima,

b) vliv větrných elektráren na počasí – tedy na podmínky v konkrétním čase (na rozdíl od podmínek klimatických, které jsou určeny dlouhodobým režimem počasí) a

c) vliv větrných elektráren na klima ve velkém rozměru, od měřítka jednotlivých regionů až po globální dopady. S tím souvisí i otázka, kolik energie lze z větru rozumně získávat, aniž by docházelo k podstatným technickým či klimatickým problémům.

Zdaleka nejživější oblastí výzkumu je téma vzájemného ovlivnění větrných elektráren, neboť jde o fenomén, který zcela zásadně ovlivňuje produkci a životnost větrných elektráren ve větrných farmách a má velký vliv na

design větrných farem. Tím se nebudeme v tomto článku hlouběji zabývat, protože nejde o vazbu na počasí a klima, ale o otázky technické. Vedle toho však existuje i nezanedbatelné množství prací zabývajících se více obecnými dopady na počasí a klima. Není v možnostech tohoto článku provést kompletní rešerši relevantní literatury, pokusíme se však alespoň shrnout základní principy a poznatky v této oblasti.

Podstata interakce větrných elektráren s atmosférou

Prvotním hybatelem proudění vzduchu v atmosféře je nerovnoměrné zahřívání zemského povrchu slunečním zářením. V jeho důsledku dochází k rozdílu tlaku vzduchu, které jsou pak vzdušným prouděním vyrovnávány. Rozhodující roli přitom hrají procesy celoplanetárního až kontinentálního měřítka, které mají za následek průběžný vznik energie proudění v celém objemu atmosféry. Protěžkem takto vznikající energie je její „spotřeba“, a to jednak ve volném objemu atmosféry (prostřednictvím vzniku turbulentních vírů a jejich postupného rozpadu a přeměny na tepelnou energii), jednak třením o zemský povrch.

Zemskou atmosféru, resp. její spodní část, kde se odehrává počasí (troposféru), lze v této souvislosti rozdělit na dvě části. Blíže zemskému povrchu se nachází tzv. mezní vrstva, kde je proudění ovlivněno třením o zemský povrch, nad ní se nachází volná atmosféra, která je od vlivu zemského povrchu do značné míry izolována. Zatímco v mezní vrstvě je energie větru spíše spotřebovávána, ve volné atmosféře převažuje její produkce. Horní hranice mezní vrstvy se nachází ve výškách od řádově stovek metrů do cca 2 km nad zemským povrchem, větrné elektrárny se tedy v naprosté většině případů nacházejí celé v jejím prostoru. Množství energie využitelné větrnými elektrárnami je proto fundamentálně limitováno rychlostí přenosu energie z volné atmosféry do mezní vrstvy, na druhou stranu omezený přenos energie mezi mezní vrstvou a volnou atmosférou limituje možnosti bezprostředního dopadu využívání větrné energie na klima.

Větrné elektrárny ovlivňují atmosférické děje především dvěma způsoby. Za prvé spotřebovávají energii proudění vzduchu, v úplavu větrných elektráren se tak v průměru snižuje rychlost větru. Za druhé dochází ke zvýšení turbulence za větrnými elektrárnami. S rostoucí vzdáleností od větrné elektrárny se oba efekty postupně vytrácejí. Turbulentní víry se rozpadají, až dojde k jejich přeměně na tepelnou energii. Deficit energie (rychlosti větru) taktéž postupně mizí, neboť při nižší rychlosti větru jsou nižší i energetické ztráty třením o zemský povrch a turbulencí, což kompenzuje předchozí ztrátu energie na větrných elektrárnách. Obnovuje se původní rovnováha mezi energií

přicházející z volné atmosféry (případně vznikající přímo v mezni vrstvě) a jejím přirozeným zánikem. V členitém terénu (například četné lesy nebo členitá orografie) je tento proces „zotavení“ rychlejší než na volných plochách, například na moři.

Praktické dopady

Z hlediska vlivů na běžné lidské aktivity či přírodu je samotné snížení rychlosti větru a lokální zvýšení turbulence za větrnými elektrárnami dopadem poměrně nevinným. „Oběťmi“ jsou v tomto ohledu především větrné elektrárny samotné, jejichž produkce je na jakékoli změny proudění značně citlivá.

Podstatnější okolností je v tomto ohledu zvýšení noční teploty v prostoru a okolí větrných farem. V nočních hodinách obvykle dochází ke stabilizaci atmosféry, kdy se v blízkosti zemského povrchu nachází relativně chladnější vzduch ve srovnání se vzduchem ve větší výšce. Turbulence způsobená větrnými elektrárnami způsobuje zvýšené promíchávání vzduchu, díky kterému může docházet ke zvýšení přenosu tepla k zemskému povrchu.

Nočnímu oteplení se věnuje celá řada prací, zejména ze Spojených států. Tento jev zde byl simulován meteorologickými modely (např.^{3–5}) a současně potvrzen pozorováním^{6,7}. Zvýšení průměrné teploty vzduchu se u velkých větrných farem pohybuje v řádu desetin stupňů Celsia, v konkrétních dnech (nocích) až jednotek stupňů Celsia. Při měření na největší české větrné farmě Kryštofovy Hamry⁸ tento jev zaznamenán nebyl, což je však zřejmě dáno členitostí terénu a stále ještě nevelkým rozměrem této větrné farmy.

Další dopady větrných elektráren, zejména pak dopady velkého rozměru, již nejsou tak přímočaré. V prvé řadě je nutno zmínit vliv na počasí, tedy na podmínky v konkrétním místě a čase. Zde platí, že každá byt' lokální změna podmínek ovlivňuje trajektorii vývoje dění v atmosféře. I původně malá změna může vést po určité době k zásadní změně počasí na velkém území – jde o tzv. efekt motýlích křídel (to je také jeden z důvodů, proč je obtížné předpovídat počasí na delší dobu). Proto mohou větrné elektrárny například ovlivnit vývoj a trajektorii tlakových níží⁹. Tento jev je však do značné míry nahodilý a nemusí vést ke změně klimatických podmínek.

Pro zjištění, jak větrné elektrárny ovlivňují (ve velkém rozměru) klimatické poměry, je nutno provést simulaci po dostatečně dlouhé období, ideálně aspoň několik desítek let. Porovnávají se přitom simulace, které s větrnými elektrárnami nepočítají, se simulacemi, kde je jejich vliv nějakým způsobem parametrizován. Konkrétně se vliv větrných elektráren obvykle v modelu reprezentuje prostřednictvím pohlčení energie větru a zvýšení turbulence v odpovídajících výškách nad povrchem (např. cit.¹⁰); primitivnější variantou je považovat větrné elektrárny za faktor zvyšující drsnost povrchu. Studií na toto téma existuje celá řada, navzájem se liší metodikou, územním rozsahem či množstvím uvažovaných větrných elektráren. To je potřeba brát v úvahu při interpretaci jejich výsledků.

Jednou skupinou jsou studie, které simulují v rámci určitého regionu zhruba současný stav rozvoje větrné energetiky^{11,12}. Zjištěné dopady na klima (nad rámec lokálního snížení rychlosti větru a zvýšení noční teploty) podle těchto studií nejsou zcela nulové, ale vesměs dosti nepodstatné či statisticky nevýznamné. Konkrétně Vautard a spol.¹² namodelovali pro střední Evropu nepatrné oslabení západní cirkulace v zimě a související snížení zimních srážek (obr. 3 ve zmíněné publikaci). Toto snížení zimních srážek je však sotva odlišitelné od nahodilých odchylek, týká se pouze západní části Čech, a to velmi orientačně na úrovni okolo 1 % ročního úhrnu srážek.

Jiná situace nastává, pokud je cílem studie simulovat scénář maximálního využití větrné energie. To je limitována zejména množstvím dostupné energie, dostupným takové studie je práce¹³. Ta dochází k závěru, že maximální možné globální využití větrné energie se pohybuje řádově na úrovni desítek terawatt (TW) kontinuálního výkonu. Na základě této i jiných prací (např.¹⁴) se jeví, že obecné klimatické dopady využití větrné energie na takto masivní úrovni již nemusejí být zanedbatelné. Jejich rozměr se sice nachází obecně pod úrovní klimatických dopadů zvyšování koncentrace skleníkových plynů, řádově však mohou být až srovnatelné. Změny teploty či srážek se však v tomto případě pohybují oběma směry a v různých regionech se navzájem liší. Konkrétně jde o změny průměrné teploty vzduchu v řádu desetin (výjimečně až nižších jednotek) stupňů Celsia, a to v různé míře a v různém směru v závislosti na regionu. V případě srážek je interpretace různých prací komplikovaná. Většina prací nenaznačuje zásadní změny srážkového režimu, Li a spol.¹⁵ však deklarují, že masivní výstavba větrných a solárních elektráren na Sahaře by mohla vést k citelnému zvýšení srážek na jižní Sahaře a Sahelu. Při nižším využití větrné energie jsou simulované klimatické dopady přiměřeně nižší (např.¹⁶).

Maximalistické scénáře jsou ovšem skutečně extrémní. Lze očekávat, že reálné využití větrné energie se nikdy nebude blížit úrovni uvažované například v práci¹³. Realistickým odhadem může být využití větrné energie zhruba o jeden řád vyšší ve srovnání se současným stavem, což je zhruba o jeden řád méně ve srovnání s potenciálem dle cit.¹³ a zhruba na úrovni práce¹⁶ (tam jsou ale větrné elektrárny nerealisticky koncentrovány do několika gigantických větrných farem). Jde řádově o jednotky promile celkové energie větru vznikající v atmosféře. Na této úrovni lze na základě studovaných prací odhadovat, že klimatické dopady budou v globálním pohledu ještě poměrně nepodstatné.

Dostupné výsledky výzkumu tedy naznačují, že relevantní dopad větrné energetiky na klima se v současné situaci omezuje na problematiku vzájemného ovlivnění větrných elektráren či farem a v některých případech též na mírné zvýšení noční teploty vzduchu v prostoru a okolí velkých větrných farem. Vliv větrných farem na klimatické podmínky vzdálenějších regionů je podle dostupných výzkumů v současné době zanedbatelný. Při dalším rozmachu využití větrné energie nelze rozpoznatelný vliv na

klima vyloučit, ten však bude zřejmě vždy hluboko pod úrovní dopadů zvyšování koncentrace skleníkových plynů. I přesto je na místě těmto otázkám věnovat pozornost, zejména v případě skutečně rozsáhlé výstavby větrných elektráren v určitém regionu (například v prostoru Severního moře). Je nepochybné, že výzkum na toto téma bude nadále pokračovat.

Větrné elektrárny a sucho?

Pokud jde o obavu zmíněnou autory obou úvodníků, nalezené relevantní práce na toto téma vůbec nenaznačují, že by mělo v Evropě docházet k zásadnějšímu zvyšování srážek v okolí větrných farem na úkor vzdálenějších regionů. Významnější efekt v tomto smyslu nenaznačují ani výsledky modelových simulací. Základním důvodem je jistě fakt, že vertikální rozsah procesů vývoje srážek výrazně přesahuje mezní vrstvu zasaženou vlivy větrných elektráren. Přitom objemy vody přenášené ve vrstvě atmosféry od zemského povrchu do výšky 3 km jsou obrovské, takže i kdyby došlo vlivem větrných farem k mírnému zvýšení srážek v Německu, množství celkově přenášené vlhkosti by to zásadněji neovlivnilo. Pro signifikantní dopad by zvýšení srážek muselo být skutečně masivní a těžko přehlédnutelné. Navíc platí, že dominantním směrem, odkud k nám vlhkost přichází, je západ (ilustraci toho faktu lze najít například v publikacích¹⁷, obr. 6, a cit.¹⁸, obr. 9). Na severozápadní sektor, kde se nachází většina evropských větrných elektráren, připadá výrazně menšinová část přicházející vlhkosti.

Současně nám není známo, že by v severním Německu či v okolních regionech docházelo v korelaci s výstavbou větrných elektráren k zásadnějšímu zvyšování srážek. Konkrétně v roce 2018, který byl zřejmě inspirací pro autory úvodníků, zasáhlo tuto část Evropy naopak extrémní sucho.

I bez ohledu na modelové výpočty se tedy jeví jako nepravděpodobné, že by výstavba větrných elektráren v severním Německu a okolí Severního moře v současnosti nějakým významným způsobem srážkové poměry v České republice ovlivňovala. Sucho posledních let, zejména teplé části let 2015 a 2018, lze vysvětlit mnohem přirozeněji, totiž běžnou variabilitou počasí, nejspíše s určitým příspěvkem probíhající klimatické změny. Suché roky či delší suchá období se vyskytovaly i v minulosti a není důvod, proč by tomu mělo být nyní jinak. Rok 2018 byl poměrně extrémní z pohledu cirkulačních podmínek, neboť v teplé části roku docházelo v neobvykle velké míře k anticyklonálním situacím nad Evropou, k zeslabení západního proudění a cyklonální činnosti nad Evropou, a k odklánění frontálních systémů mimo Evropu¹⁹. Tím byl omezen přísun vlhkosti nad evropský kontinent a vzniklé sucho je toho přirozeným důsledkem. Současné je pravděpodobné, že k intenzitě sucha přispělo i systematické zvyšování teploty související s globální klimatickou změnou, a nelze vyloučit, že i charakter cirkulace může být klimatickou změnou již nyní nepříznivě ovlivněn.

Závěrečné poznámky k úvodníku Haniky a Hrdiny

Na závěr bychom se rádi vyjádřili k některým tvrzením v úvodníku Haniky a Hrdiny. V klíčové části článku autoři vysvětlují svoji hypotézu o vlivu větrných elektráren výkladem, že „zvýšení tlaku vzduchu, který je nasycen, nebo dokonce přesycen, vodní parou, a k tomu ještě střížné síly na hranách listů vrtulí větrné elektrárny nepochybně vyvolávají při teplotách kolem rosného bodu, nebo bodu mrazu vody její kondenzaci, tedy tvorbu kapek či vloček“. Na základě toho usuzují, že „Separaci vody se tak ochudí proud vzduchových mas po průchodu „farmou“ větrných elektráren.“ Z uvedeného nám není zřejmé, jak má proces kondenzace vody v důsledku střížných sil a její následná „separace“ probíhat, nicméně v rámci našich znalostí nám tento text nedává smysl.

Jednak nám není známo, že by „střížné síly na hranách vrtulí“ v nějaké významné míře vedly k (udržitelné) kondenzaci vody. Především však samotná kondenzace vody (tedy vznik mlhy či oblačnosti) bez dalšího neznamená vznik padajících srážek. Ten je podmíněn mnohem komplexnějšími atmosférickými procesy podstatně většího vertikálního rozsahu, a teprve jejich ovlivněním by větrné elektrárny mohly teoreticky srážkový režim významněji postihnout. Určitou výjimku tvoří srážky usazené, tedy ovlhnutí či námraza větrných elektráren, skrze které mohou větrné elektrárny skutečně „separovat“ část vody, to je však v celkové bilanci ve středoevropských reáliích zanedbatelné množství. Teoreticky by asi také mohlo dojít k určitému zesílení již existujících srážek, pokud by propadávaly vzniklou oblačností (či mlhou), avšak i zde považujeme zásadnější dopad na celkovou srážkovou bilanci za vysoce nepravděpodobný.

Podstatnější efekt na oblačnost (a možná i srážky) může mít spíše turbulence vyvolaná větrnými elektrárnami, například skrze promíchávání vzduchu, dopad na teplotní zvrstvení či iniciaci konvekce. V tomto ohledu lze zmínit například ikonické fotografie oblačnosti/mlhy, která může vzniknout při velmi specifickém zvrstvení atmosféry za rotory větrných elektráren^{20–22}. Možná právě tyto obrázky inspirovaly autory k jejich úvahám. Při tomto vzácném fenoménu však nedochází ke kondenzaci na listech větrné elektrárny, ale za ní, a to v důsledku promíchání nasycených vzduchových hmot o různé teplotě. Nízká oblačnost či mlhy zřejmě mohou být turbulentní za větrnými elektrárnami ovlivněny i v širším spektru méně fotogenických situací, v jejich rámci však nedochází ke vzniku atmosférických srážek (snad s výjimkou možnosti slabého mrholení, ovlhnutí, či námrazy s nepodstatným dopadem na celkové srážky).

Obecně lze říci, že nám není znám z meteorologické teorie, odborné literatury ani pozorování žádný proces, který by mohl mít významný dopad na srážky ve smyslu toho, co autoři popisují. Pokud takový proces existuje, proč autoři tento svůj poměrně převratný zpronek nějakým způsobem nepodložili a nepublikovali v relevantním odborném časopise? Rozhodně nejde o samozřejmost, kterou by bylo možno trivializovat.

Nejde o jediné podobně problematické tvrzení. Na jiném místě autoři uvádějí, že „v okolí města Jeseník 6 „větrníků“ s celkovým instalovaným výkonem pouhých 0,03 GW dokázalo od roku 1994 výrazně změnit lokální klima v jeho okolí“. Podrobnosti o této změně či zdroj tohoto tvrzení opět chybí (!), s ohledem na realie dané větrné farmy (správně 0,003 GW) lze ale důvodně očekávat, že se jedná buď o velmi nevýznamný vliv (nějaké efekty v rámci nízké oblačnosti?), nebo je toto tvrzení zcela smyšlené.

Na základě uvedeného se nám jeví, že se v případě výše citovaných tvrzení Haniky a Hrdiny jedná o nepodložené a naivní úvahy, které jsou navíc zřejmě zcela chybné. Co považujeme za problematické, není samotná publikace takových úvah, ale způsob, jakým jsou tyto domněnky prezentovány. Text úvodníku má ve své odborné části formu autoritativního výkladu, který má budít zdání odbornosti autorů v rámci vysvětlované problematiky. Nezasvěcený čtenář tak může jen stěží rozlišit, že v nejdůležitější části článku jde zřejmě o naivní laickou úvahu. Takový přístup, kde jsou (zřejmě) nepodložené domněnky prezentovány způsobem, jako by šlo o fakta, považujeme za manipulativní a podle našeho názoru by neměl mít (nejen) v odborném časopise místo ani v úvodníku.

Se situací, kdy jsou pod záminkou odbornosti (typicky v jiném vědním oboru) prezentovány zdánlivě seriózní „vědecké“ úvahy či články, ve skutečnosti však vedené spíše osobním názorem autorů (či jinou motivací) než snahou o objektivní vědecké poznání, se lze bohužel setkávat v posledních letech poměrně často. Prominentní místo má v tomto smyslu populární téma změny klimatu, kterému alespoň v mediálním prostoru „rozumí“ skutečně kdekdo. Zdaleka však nejde pouze o tento obor a nepochybujeme, že chemické vědy se s tímto fenoménem musejí někdy potýkat také. Chtěli bychom proto odborníky i z oboru chemických věd vyzvat, aby v současné době plně různých „alternativních fakt“ k tomuto nešťastnému trendu, který může vést ke zmatení čtenářů a znevěrohodnění vědy jako takové, svými publikacemi nepřispívali. Současně bychom chtěli poděkovat redakci časopisu za její zájem o ověření relevance zmiňovaných úvodníků a možnost publikace tohoto příspěvku.

LITERATURA

- Hanika J., Hrdina R.: Chem. Listy 112, 573 (2018).
- Podešva J.: Chem. Listy 112, 801 (2018).
- Cervarich M. C., Roy S. B., Zhou L.: Energy Procedia 40, 530 (2013).
- Adams A. S., Keith D. W.: Environ. Res. Lett. 8, 015021 (2013).
- Miller L. M., Keith D. W.: Joule 2, 2618 (2018).
- Harris R., Zhou L., Xia G.: Remote Sens. 6, 12234 (2014).
- Zhou L., Tian Y., Chen H., Dai Y., Harris R. A.: Earth Interact. 17, 1 (2013).
- Moravec D., Barták V., Puš V., Wild J.: Renewable Energy 123, 627 (2018).
- Lauridsen M. J., Ancell B. C.: Advances in Meteorology 2018, 2469683 (2018).
- Fitch A. C., Olson J. B., Lundquist J. K., Dudhia J., Gupta A. K., Michalakes J., Barstad I.: Mon. Weather Rev. 140, 3017 (2012).
- Vautard R., Thais F., Tobin I., Bréon F. M., Devezeaux de Lavergne J. G., Colette A., Yiou P., Ruti P. M.: Nat. Commun. 5, 3196 (2014).
- Pryor S. C., Barthelmie R. J., Shepherd T. J.: J. Geophys. Res.: Atmos. 123, 5804 (2018).
- Miller L. M., Gans F., Kleidon A.: Earth System Dynamics 2, 1 (2011).
- Keith D. W., DeCarolis J. F., Denkenberger D. C., Lenschow D. H., Malyshev S. L., Pacala S., Rasch P. J.: Proc. Natl. Acad. Sci. 101, 16115 (2004).
- Li Y., Kalnay E., Motesharrei S., Rivas J., Kucharski F., Kirk-Davidoff D., Bach E., Zeng N.: Science 361, 1019 (2018).
- Fitch A. C.: J. Clim. 28, 6160 (2015).
- Wypych A., Bochenek B., Różycki M.: Atmosphere 9 (1), 18 (2018).
- Wypych A., Bochenek B.: Advances in Meteorology 2018, 3940503 (2018).
- Daňhelka J., Kubát J. (ed.): Sucho v roce 2018, předběžné hodnocení, ČHMÚ, Praha 2019.
- Emeis S.: Dewi Magazin 37, 52 (2010).
- Hasager C., Rasmussen L., Peña A., Jensen L., Réthoré P. E.: Energies 6, 696 (2013).
- Hasager C., Nygaard N., Volker P., Karagali I., Andersen S., Badger J.: Energies 10, 317 (2017).

D. Hanslian and P. Sedlák (Institute of Atmospheric Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic): Wind Turbines – a Climatic Disaster?

This article was written as a reaction to two editorials in Chemické listy journal that raised questions about an impact of wind turbines on climate, specifically about a suggested connection between the wind turbines in Northwest Europe and the droughts in the Czech Republic. A short review is therefore presented on impacts of wind turbines on climate. It shows that besides the impact on other wind turbines due to the decrease of wind speed and increase of turbulence, the most distinct of immediate effects is a moderate increase of nocturnal temperatures within and around some large wind farms. According to model simulations, massive deployment of wind turbines can also affect general climate conditions (e.g. temperature or precipitation) in a large scale, up to a global scale. However, the impacts are much weaker and are caused by different processes than suggested by the authors of editorials. Identifiable climate impacts cannot be ruled out only in case of much higher extent of wind energy utilization compared to the current state. The connection between the wind turbines in Northwest Europe and the recent Czech droughts is very unlikely.

Keywords: wind turbines, atmospheric precipitation, climate, drought