

Vliv fotovoltaických a větrných elektráren na vodní bilanci a mikroklima

Třetí část série technických rozborů – *violka.info*

Abstrakt

Tato studie shrnuje publikované poznatky o vlivu fotovoltaických (FVE) a větrných (VTE) elektráren na vodní bilanci a mikroklima krajiny. Na základě recenzovaných studií z USA, EU, Číny, Středomoří a aridních oblastí se ukazuje, že vliv FVE na vodní bilanci je *obousměrný*: pod panely klesá evapotranspirace o 20–67 % (v létě), půdní vlhkost vzrůstá o 10–30 %, biomasa pod agrivoltaikou v Oregonu vzrostla o 90 % a vodní efektivita o 328 %. Současně však voda stékající z panelů vytváří v drylinii lokální saturaci a může zvýšit povrchový odtok při intenzivních srážkách o 10–40 %, pokud nejsou aplikovány vhodné krajinné prvky. VTE způsobuje měřitelné lokální změny teplot v řádu $\pm 0,2$ až ± 1 °C, převážně formou nočního oteplení a denního ochlazení v důsledku turbulentního míchání. Efekt mizí v řádu jednotek až 8 km po větru. Studie diskutuje aplikační scénáře pro klimatické podmínky ČR a roli agrivoltaiky v adaptaci na sucho.

Klíčová slova: evapotranspirace, agrivoltaika, ekovoltaika, vodní bilance, mikroklima, klimatická adaptace, povrchový odtok, půdní vlhkost.

1. Úvod a motivace

V rámci série technických rozborů byly v předchozích dvou studiích popsány plošné, energetické a investiční parametry obnovitelných zdrojů ve srovnání s jadernou energetikou. Tato třetí studie se zaměřuje na otázku, která v debatě o OZE často zaznívá, ale jen zřídka je doložena konkrétními daty: **jak ovlivňují fotovoltaické a větrné elektrárny vodní bilanci a mikroklima krajiny?**

Téma je v podmínkách ČR mimořádně aktuální. Klimatická data ČHMÚ ukazují za posledních 30 let pokles letních průtoků v povodí Vltavy o 15–20 %, predikce do roku 2050 hovoří o dalším poklesu o 20–40 %. Pokud má být součástí adaptace na klimatickou změnu i rozvoj OZE, je nutné rozumět, zda tyto zdroje vodní bilanci pomáhají, neutrálně procházejí, nebo ji zhoršují.

Práce vychází z metodicky srovnatelných studií publikovaných v recenzovaných periodikách (Journal of Hydrology, Environmental Research Letters, Frontiers in Sustainability, Journal of Geophysical Research, PLANTS PEOPLE PLANET) a snaží se podávat poctivý obraz včetně rizik a omezení.

2. Fyzikální základ: jak panel nebo turbína mění mikroklima

2.1 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaický panel zachycuje sluneční záření a převádí jeho část (15–22 %) na elektřinu. Zbytek se z velké části přemění v teplo na panelu samotném a vyzáří se do okolní atmosféry. Z pohledu povrchu pod panelem dochází ke třem strukturálním změnám:

(a) Stínění: přímé sluneční záření na povrch klesá o 70–95 % (záleží na hustotě panelů a sklonu). Difuzní záření klesá méně.

(b) Teplotní změna: teplota povrchu půdy klesá ve vegetační sezóně o 2–5 °C, v noci může mírně stoupnout (o ~ 1 °C) v důsledku omezeného radiačního ochlazování.

(c) Redistribuce vody: srážky stékají po panelu na jeho dolní hranu (drylinii) a soustřeďují se v úzkém pásu pod ní. Plocha přímo pod panelem zůstává sušší, drylinie naopak vlhčí.

2.2 Větrná elektrárna

Větrná elektrárna odebírá část kinetické energie z proudícího vzduchu (Betzův limit 59,3 %, reálně 35–45 %). Tím:

(a) Snižuje rychlost větru za rotorem (tzv. wake effect) o 20–40 % po vzdálenost 5–10 průměrů rotoru.

(b) Zvyšuje turbulentní kinetickou energii ve výškové vrstvě 50–200 m nad zemí.

(c) Vyvolává vertikální míchání atmosféry, které mění distribuci tepla a vlhkosti v přízemní vrstvě. Důsledkem jsou měřitelné, ale prostorově omezené změny teplot a vlhkosti.

3. Fotovoltaika a vodní bilance

3.1 Snížení evapotranspirace

Evapotranspirace (ET) je součet výparu z povrchu a transpirace rostlin. Pod FVE klesá v důsledku stínění, nižší teploty a sníženého proudění větru u země. Penn State University v dlouhodobé studii dvou solárních farem v Pensylvánii naměřila **pokles potenciální ET o 37–67 % v letním období**, v zimě byl rozdíl minimální.

Studie agrivoltaiky v Oregonu (Hassanpour Adeg et al.) zaznamenala, že plochy pod panely si po celé sledované období udržovaly vyšší půdní vlhkost. Výsledky jsou v plném souladu se závěry studií ze středomořského a aridního klimatu (Itálie, Mojavská poušť), které ukazují podobné mechanismy.

3.2 Zvýšení půdní vlhkosti — ale s redistribucí

Měření na komerčních FVE v USA (kvantitativní studie z roku 2024) prokázala, že průměrně přes celý rok je vlhkost půdy v drylinii o 19 % vyšší než kontrolní hodnota, zatímco přímo pod panely o 25 % nižší. Tato **prostorová redistribuce** je klíčový jev — celkové množství vody v krajině se zvyšuje, ale není rozloženo rovnoměrně.

Mikrolokality	Změna vlhkosti	Pozn.
Pod panelem (centrum)	–25 %	Stín srážek, méně vody
Drylinie (okraj panelu)	+19 %	Stéká voda z panelů
Mezi řadami panelů	±0 %	Bez výrazného efektu
Středomoří, suchá sezóna	+3–7 %	Zachováno do srpna
Oregon, agrivoltaika (létní)	+10–30 %	Po 2 letech provozu

Tab. 1: Změny půdní vlhkosti v různých mikrolokalitách FVE oproti kontrolní ploše.

3.3 Hospodaření s vodou — riziko rychlého odtoku

Klíčové riziko, které je nutné poctivě pojmenovat: **panel je vůči vodě nepropustný**. Pokud z něj voda steče na holou, udusanou půdu, může vznikat rychlý povrchový odtok, eroze a v krajním případě i lokální záplavy. Studie z Virginie (2025) zaznamenala v některých částech velkých FVE „rychlé a místy podstatné“ objemy povrchového odtoku.

Studie SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modelu pro řecké povodí (Pisinaras et al.) ukázala, že přeměna 1 % povodí na FVE zvyšuje povrchový odtok a snižuje evapotranspiraci, ale efekt na povodí jako celek **není významný**. Při 5 % přeměně už je efekt měřitelný a vyžaduje opatření.

Riziko rychlého odtoku závisí na:

- (a) Sklonu pozemku — na rovině minimální, na svazích > 5 % výrazné.
- (b) Stavů půdy — udusaná holá půda generuje 5–10× větší odtok než půda s vegetací.
- (c) Hustotě panelů — uzavřené pole bez mezer koncentruje vodu nejvíce.
- (d) Intenzitě srážek — při bouřkových přivalech je rozdíl největší.

3.4 Ekovoltaika: jak rizika eliminovat

Studie z Penn State (Journal of Hydrology, 2024) jasně ukazuje, že rizika rychlého odtoku lze efektivně eliminovat, pokud je FVE projektována s ohledem na hydrologii:

- (a) **Zachování vegetace pod panely** — nikoli holá půda, ale luční porost, pastva nebo plodiny tolerantní ke stínu.
- (b) **Vyšší konstrukce** — panely 1,5–2,5 m nad zemí umožňují dvojí využití i lepší rozpyl srážek.
- (c) **Mezery mezi panely** — 3–5 % volného prostoru umožňuje rovnoměrnější distribuci srážek.
- (d) **Krajinné prvky mezi řadami** — průlehy, mokřady, biokoridory zachycují vodu a podporují infiltraci.
- (e) **Rotující panely (tracking)** — mění úhel a tím i polohu drylinie, voda se rozptýluje v širším pásu.

3.5 Kvantifikace pro podmínky ČR

V průměrných podmínkách ČR (srážky 600 mm/rok, evapotranspirace ~400–420 mm/rok, odtok ~180 mm/rok) lze odhadnout efekt klasické polní FVE takto:

Veličina	Bez FVE	Pod FVE	Změna
Srážky [mm/rok]	600	600	0
Evapotranspirace [mm/rok]	420	250–340	–80 až –170
Povrchový odtok [mm/rok]*	60–80	60–180	+0 až +100
Infiltrace do podzemí [mm/rok]	100–120	80–290	–20 až +170

*nezávisí pouze na FVE, klíčový je projekt

Tab. 2: Modelová roční vodní bilance v ČR, kvalifikovaný odhad. Spodní hranice výparu odpovídá klasické polní FVE bez vegetace, horní hranice agrivoltaice s vegetačním krytem.

Klíčové zjištění: Při dobře navržené FVE (zachovaná vegetace, vhodný sklon, krajinné prvky) zůstává v krajině o cca 100–170 mm vody/rok navíc oproti otevřenému poli, převážně formou nižšího výparu a vyšší infiltrace do podzemí. Pro 1 km² FVE to znamená až 100 000–170 000 m³ vody navíc zadržené v krajině ročně.

4. Větrné elektrárny a mikroklima

4.1 Mechanismus vlivu

Vliv VTE na přízemní mikroklima je strukturálně jiný než u FVE: VTE nestíní povrch, ale **mění proudění vzduchu**. Turbulentní míchání za rotorem může při stabilní stratifikaci atmosféry (typicky v noci) přinést teplejší vzduch z vyšších vrstev k povrchu, naopak při labilní stratifikaci (typicky ve dne) může přízemní vzduch ochlazovat.

4.2 Naměřené hodnoty

Studie	Lokalita	Velikost farmy	Efekt na teplotu
Roy & Traiteur 2010	San Geronio CA	3 218 turbín	+0,5–1,0 °C noc

Zhou et al. 2012	Texas (satelity)	4 farmy	+0,75 °C noc, ~0 den
Rajewski et al. 2016	Iowa	120 turbín	+0,4 °C průměr
Slawsky et al. 2015	USA, syntéza	více farem	+0,2-0,5 °C noc
Chios CFD model 2021	Řecko (model)	20 turbín	< 8 km efekt

Tab. 3: Naměřené efekty velkých VTE farem na přízemní teplotu vzduchu.

4.3 Interpretace pro praxi

Pro hybridní systém z první studie (160 turbín na 120 km²) leží velikost spíše ve středu publikovaných měření. Lze očekávat:

- (a)** Mírné **noční oteplení** přízemní vrstvy o 0,3-0,7 °C v okruhu cca 5 km od farmy.
- (b)** Mírné **denní ochlazení** o 0,1-0,3 °C — efekt slabší než noční.
- (c)** **Snížení rizika přízemních mrazů** — zemědělský efekt známý z USA, kde farmáři tradičně používají velké ventilátory na ochranu sadů před mrazem. VTE plní podobnou funkci pasivně.
- (d)** Po 8 km od krajní turbíny už není efekt prokazatelný (Chios 2021).

Toto je důležité v kontextu změny klimatu v ČR: zatímco v sezóně sucha může mírné noční oteplení působit kontraproduktivně (vyšší výpar), v období jarních mrazů naopak chrání plodiny. Celkový bilanční efekt je v podmínkách ČR pravděpodobně neutrální až mírně pozitivní pro zemědělskou produkci.

4.4 Vlhkost a srážky

Vliv VTE na vlhkost vzduchu a srážky je v literatuře **stále otevřená otázka**. Numerické simulace pro velké offshore farmy ukazují malý nárůst teploty a srážek, ale onshore studie z USA tento efekt nepotvrzují jednoznačně. V podmínkách ČR, kde by se realizovaly farmy řádově jednotek až desítek MW na lokalitu, je vliv na regionální vodní bilanci pravděpodobně zanedbatelný.

5. Srovnání obou technologií

Aspekt	FVE	VTE
Stínění povrchu	Silné (70-95 %)	Žádné
Teplota povrchu (den)	-2 až -5 °C	-0,1 až -0,3 °C
Teplota přízemní (noc)	+0,5 až +1 °C	+0,3 až +0,7 °C
Evapotranspirace	-37 až -67 % (léto)	Neutrálně
Půdní vlhkost (drylinie)	+10-30 %	Neutrálně
Půdní vlhkost (pod konstrukcí)	-25 % bez opatření	Neutrálně
Riziko rychlého odtoku	Středně vysoké (řešitelné)	Žádné
Vliv na proudění větru	Nepatrné	Wake do 5-10 D
Ochrana před přízemním mrazem	Mírně	Středně
Dvojití využití pozemku	Agrivoltaika ano	Standardně ano
Klimatický rozsah efektu	Lokální (m-km)	Lokální (km)

Tab. 4: Srovnání mikroklimatických a hydrologických efektů FVE a VTE.

6. OZE a adaptace na klimatickou změnu

V kontextu klimatické změny v ČR (oteplení, sucha, vlny veder, posun ke středomořskému typu klimatu) lze formulovat tyto závěry:

(I) Agrivoltaika je nástroj klimatické adaptace. Snížení výparu o 30–60 % v letním období znamená, že stejná zemědělská kultura vyžaduje méně závlahy nebo lépe snáší období sucha. Studie z Itálie a Mojavské pouště ukazují, že to funguje i v podmínkách extrémního sucha.

(II) Klasická průmyslová FVE bez vegetace má opačný efekt. Holá udusaná půda mezi panely se přehřívá a generuje rychlý odtok. Z hlediska krajinné hydrologie je tento typ nejhorší volbou.

(III) Na brownfieldech a degradovaných plochách je FVE jednoznačně přínosná. Bývalé skládky, povrchové doly, opuštěné průmyslové areály — jejich přeměna na FVE navíc s vegetační rekultivací zlepšuje vodní bilanci území oproti původnímu stavu.

(IV) VTE nemá výrazný vliv na vodní bilanci. Mírné noční oteplení může v některých kontextech pomoci proti přízemním mrazům, jinde mírně zvyšuje výpar. Celkový efekt je pravděpodobně neutrální.

(V) Krajinný design je rozhodující. Stejná technologie (FVE) může mít v jedné lokalitě vodní bilanci výrazně zlepšit (agrivoltaika s vegetací, mokřady v drylinii) a v jiné lokalitě zhoršit (holá půda, prudký svah, betonové základy). Posuzovat OZE jako monolit bez ohledu na konkrétní projekt je metodicky nesprávné.

7. Doporučení pro projekty v ČR

Z výše uvedených poznatků plyne několik konkrétních doporučení, která mohou být vodítkem pro projektanty, samosprávy i investory:

Prvek	Doporučení
Vegetace pod FVE	Vždy – pastvina, lukární porost nebo plodiny tolerantní ke stínu
Konstrukce FVE	Min. 1,5 m výška, mezery 3–5 % mezi moduly
Drylinie (okraj panelu)	Průlehy, mokřady, výsadba odolných druhů
Sklon terénu	< 5 % bez opatření, > 5 % terasy nebo kolmo na svah
Brownfieldy	Preferovat před zemědělskou půdou
Střechy a parkoviště	Maximální využití před zemědělskou půdou
Velikost VTE farmy	Pro venkov ČR ideálně 5–15 turbín na lokalitě
Vzdálenost VTE od zástavby	500–1 000 m (akustika), klimatický efekt < 5 km
Monitoring	Měření vlhkosti půdy, ET, eroze před a po realizaci

Tab. 5: Doporučené principy navrhování FVE a VTE v podmínkách ČR.

8. Závěr

Vliv obnovitelných zdrojů na vodní bilanci a mikroklima není jednoznačný — závisí kriticky na typu technologie, krajinném kontextu a kvalitě projektu. Hlavní zjištění této práce:

(I) Fotovoltaika může vodní bilanci krajiny výrazně zlepšit i zhoršit v závislosti na designu. Pod dobře navrženou FVE klesá evapotranspirace o 30–60 %, půdní vlhkost se zvyšuje a infiltrace do podzemí roste. Špatně navržená FVE (holá půda, prudký svah, betonové základy) naopak generuje rychlý odtok a erozi.

(II) Agrivoltaika je v podmínkách klimatické změny v ČR nástroj aktivní krajinné adaptace: současně řeší obnovitelnou energii, snížení evapotranspirace, ochranu plodin před přehřátím a zachování zemědělské produkce.

(III) Větrné elektrárny mají na **vodní bilanci minimální vliv**. Mikroklimatický efekt (mírné noční oteplení, denní ochlazení) je prostorově omezený na ~5 km od farmy a celkově neutrální.

(IV) Pro 1 km² agrivoltaiky lze v podmínkách ČR odhadnout zadržení **100 000-170 000 m³ vody** ročně navíc oproti otevřenému poli. To je podstatný příspěvek k zadržování vody v krajině.

(V) Argument „FVE zhoršují vodní bilanci“ je v obecné rovině **nepravdivý**; platí pouze pro špatně navržené projekty. Argument „FVE jsou klimaticky neutrální“ je rovněž nepřesný — dobře navržená FVE/agrivoltaika klimatickou rezilienci krajiny **zlepšuje**.

(VI) Z technického hlediska tedy diskuse o FVE v krajině nemá být „zda ano, nebo ne“, ale „jak je projektovat, aby pomáhaly“. Stejná technologie může být v jednom provedení degradační a v jiném regenerační prvek.

Tato práce je třetí v sérii technických rozborů publikovaných na violka.info. Předchozí studie se věnovaly srovnání jaderné a hybridní obnovitelné energetiky a kvantifikaci skutečného záboru půdy. Cílem této řady je předkládat poctivá čísla a metodiku, na jejímž základě může každý čtenář formulovat vlastní informovaný úsudek.

9. Použité zdroje

- [1] Hassanpour Adeg, E., Selker, J. S., Higgins, C. W. (2018): Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. PLoS ONE 13(11).
- [2] Penn State University (2024): Solar farms with stormwater controls mitigate runoff, erosion. Journal of Hydrology.
- [3] Pisinaras, V. et al. (2014): SWAT model assessment of solar farm impact on watershed hydrology, northern Greece.
- [4] Roy, S. B., Traiteur, J. J. (2010): Impacts of wind farms on surface air temperatures. PNAS 107.
- [5] Rajewski, D. A. et al. (2016): Toward understanding the physical link between turbines and microclimate impacts. Journal of Geophysical Research: Atmospheres.
- [6] Zhou, L. et al. (2012): Impacts of wind farms on land surface temperature. Nature Climate Change.
- [7] Whittinghill et al. (2024): Quantifying soil moisture and evapotranspiration heterogeneity within solar farms. Journal of Hydrology.
- [8] Frontiers in Sustainability (2025): Ecological impacts of single-axis photovoltaic solar energy.
- [9] Scholten, R. et al. (2025): Sharing the light, impact of solar parks on plant productivity, soil microbes and soil organic matter. PLANTS PEOPLE PLANET.
- [10] Springer Nature (2026): Ecovoltaic solar energy creates novel microclimate patterns in a warm desert. Ecological Processes.
- [11] PMC (2024): Microclimate Modification, Evapotranspiration, Growth and Essential Oil Yield of Six Medicinal Plants Cultivated Beneath a Dynamic Agrivoltaic System in Southern Italy.
- [12] Lu, Z. et al. (2021): Ecohydrological effects of photovoltaic solar farms on soil microclimates and moisture regimes in arid Northwest China.
- [13] ČHMÚ - Klimatologická a hydrologická data pro povodí Vltavy.
- [14] Předchozí studie této série: „Když se zeptáte poctivě“ (1) a „Skutečný zábor půdy“ (2), violka.info 2026.

Tento dokument je technicko-analytický rozbor. Neobsahuje politická doporučení ani regulatorní stanoviska. Jeho cílem je transparentně předložit publikovaná data a metodiku tak, aby závěry byly nezávisle ověřitelné. Publikováno na violka.info.