

Efekt fotovoltaického tepelného ostrova: Větší solární elektrárny zvyšují místní teploty

 nature.com/articles/srep35070

Abstraktní

Zatímco výroba fotovoltaické (PV) obnovitelné energie prudce vzrostla, přetrvávají obavy, zda fotovoltaické elektrárny vyvolávají efekt „tepelného ostrova“ (PVHI), podobně jako zvýšení okolních teplot ve srovnání s divočinou generuje ve městech efekt městského tepelného ostrova. Přejít na FVE mění způsob, jakým se přicházející energie odráží zpět do atmosféry nebo absorbuje, ukládá a znovu vyzařuje, protože FVE mění albedo, vegetaci a strukturu terénu. Předchozí práce na PVHI byly většinou teoretické nebo založené na simulovaných modelech. Kromě toho byla předchozí empirická práce omezena rozsahem na jediný biom. Protože stále existují velké nejistoty ohledně potenciálu účinku PHVI, zkoumali jsme PVHI empiricky pomocí experimentů, které zahrnovaly tři biomy. Zjistili jsme, že teploty nad fotovoltaickou elektrárnou byly v noci pravidelně o 3–4 °C vyšší než v divočině, což je v přímém kontrastu s jinými studiemi založenými na modelech, které naznačovaly, že by fotovoltaické systémy měly snižovat okolní teploty. Odvození základní příčiny a rozsahu efektu PVHI a identifikace strategií zmírňování jsou klíčem k podpoře rozhodování ohledně rozvoje fotovoltaiky, zejména v semiaridní krajině, která patří mezi nejpravděpodobnější u rozsáhlých fotovoltaických instalací.

Úvod

Výroba elektřiny z velkokapacitních fotovoltaických (PV) instalací se v posledních desetiletích exponenciálně zvýšila ^{1, 2, 3}. Toto rozšíření portfolií obnovitelných zdrojů energie a fotovoltaických elektráren demonstruje zvýšení akceptace a nákladové efektivity této technologie ^{4, 5}. S tímto nárůstem instalací koresponduje zvýšení hodnocení dopadů PV ^{4, 6, 7, 8}, včetně dopadů na účinnost FV

kompenzovat energetické potřeby ⁹, ¹⁰. Rostoucí obava, která zůstává nedostatečná, je, zda fotovoltaické instalace nezpůsobují efekt „tepelného ostrova“ (PVHI), který ohřívá okolní oblasti, a tím potenciálně ovlivňuje stanoviště volně žijících živočichů, funkci ekosystému v divočině a lidské zdraví a dokonce i domovní hodnoty v obytných oblastech ¹¹. Stejně jako u efektu Urban Heat Island (UHI) vyvolávají velké fotovoltaické elektrárny změnu krajiny, která snižuje albedo, takže upravená krajina je tmavší, a tudíž méně reflexní. Snížení pozemského albeda z ~20 % v přírodních pouštích ¹² na ~5 % oproti PV panelům ¹³ mění energetickou bilanci absorpce, ukládání a uvolňování krátkovlnného a dlouhovlnného záření ¹⁴, ¹⁵. Několik rozdílů mezi UHI a potenciálními efekty PVHI však zmátlo jednoduché srovnání a vytváří konkurenční hypotézy o tom, zda velké fotovoltaické instalace vytvoří efekt tepelného ostrova či nikoli. Patří mezi ně: (i) FV instalace stíní část země, a proto by mohly snížit absorpci tepla v povrchových půdách¹⁶; (ii) FV panely jsou tenké a mají malou tepelnou kapacitu na jednotku plochy, ale FV moduly vyzařují tepelné záření nahoru i dolů a to je zvláště významné během dne, kdy jsou FV moduly často o 20 °C teplejší než okolní teploty, (iii) vegetace je obvykle odstraňována z FV elektráren, čímž se snižuje množství ochlazování v důsledku transpirace ¹⁴, (iv) elektrická energie odstraňuje energii z FV elektráren a (v) FV panely odrážejí a pohlcují stoupající dlouhovlnné záření, a tak mohou zabránit ochlazení půdy, jak by tomu mohlo být pod tmavou oblohou v noci.

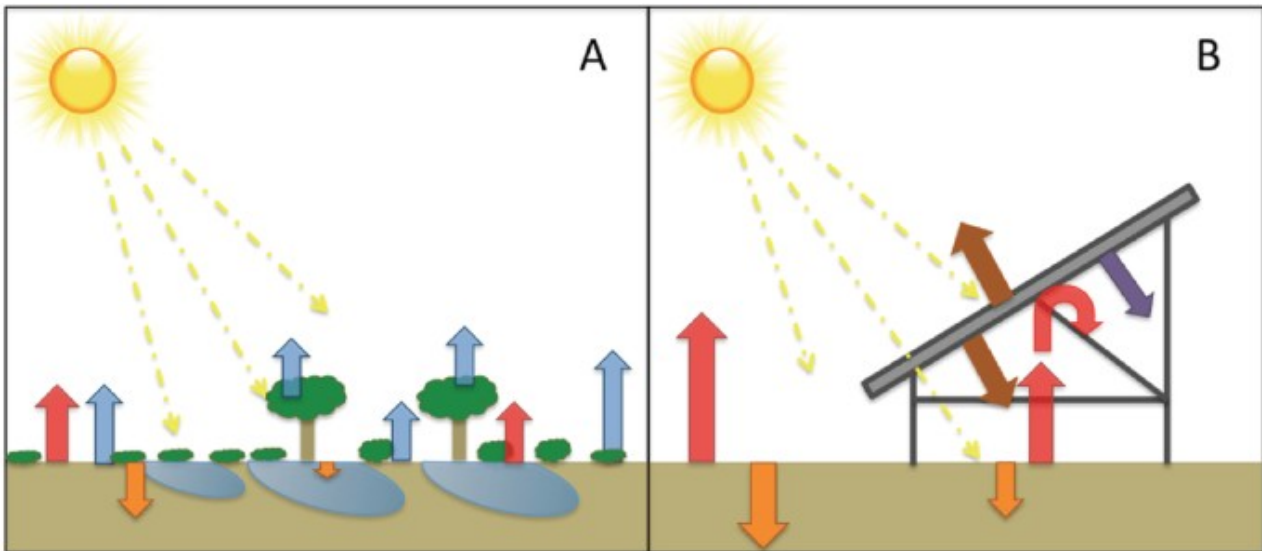
Obavy veřejnosti z efektu PVHI vedly v některých případech k odporu vůči rozsáhlému solárnímu rozvoji. Podle některých odhadů byla téměř polovina nedávno navržených energetických projektů zpožděna nebo opuštěna kvůli odporu místních ¹¹. Přesto existuje pozoruhodný nedostatek údajů o tom, zda je efekt PVHI skutečný či nikoli, nebo je to prostě problém spojený s vnímáním změny prostředí způsobené instalacemi, které vedou k myšlení „není na mém dvorku“ (NIMBY). Některé modely naznačují, že FV systémy mohou skutečně způsobit chladící efekt na místní prostředí v

závislosti na účinnosti a umístění FV panelů ^{17, 18}. Tyto studie jsou však ve své použitelnosti při hodnocení velkých fotovoltaických zařízení omezeny, protože berou v úvahu změny albeda a výměny energie v městském prostředí (spíše než v přirozeném ekosystému) nebo v evropských lokalitách, které nejsou reprezentativní pro dynamiku semiaridní energie, kde jsou velké měřítka FV instalace jsou soustředěny ^{10, 19}. Většina předchozích výzkumů je tedy založena na neověřené teorii a numerickém modelování. Potenciál pro účinek PVHI proto musí být zkoumán pomocí empirických dat získaných prostřednictvím přísných experimentálních podmínek.

Význam PVHI efektu závisí na energetické bilanci. Přicházející sluneční energie se typicky buď odráží zpět do atmosféry, nebo je absorbována, uložena a později znovu vyzařována ve formě latentního nebo citelného tepla (obr. 1) ^{20,21}. V rámci přirozených ekosystémů vegetace omezuje získávání tepla a ukládání v půdě vytvářením povrchového zastínění, ačkoli stupeň zastínění se u jednotlivých typů rostlin liší ²². Energie absorbovaná vegetací a povrchovými půdami se může uvolňovat jako latentní teplo při přechodu kapalně vody na vodní páru do atmosféry evapotranspirací – kombinovanou ztrátou vody z půd (evaporace) a vegetace (transpirace). Tato výměna latentní energie odvádějící teplo je dramaticky snížena v typické fotovoltaické instalaci (obr. 1, přechod z A do B), což potenciálně vede k větší absorpci tepla půdou ve fotovoltaických instalacích. Tato zvýšená absorpce by zase mohla zvýšit teplotu půdy a vést k většímu citelnému odvodu tepla z půdy ve formě záření a konvekce. Povrchy PV panelů navíc absorbují více slunečního záření v důsledku sníženého albeda ^{13, 23, 24}. FV panely většinu této energie znovu vyzáří jako dlouhodobé citelné teplo a přemění menší množství (~20 %) této energie na použitelnou elektřinu. FV panely také umožňují průchod určité světelné energie, což opět v nezarostlých půdách povede k větší absorpci tepla. Tato zvýšená absorpce by mohla vést k většímu citelnému odvodu tepla z půdy, která může být zachycena pod FV panely. Efekt PVHI by byl výsledkem detekovatelného zvýšení citelného tepelného toku

(atmosférického oteplování) vyplývajícího ze změny rovnováhy mezi příchozími a odchozími energetickými toky v důsledku transformace krajiny. Vývoj úplného tepelného modelu je náročný ^{17, 18, 25} a existuje velká nejistota týkající se mnoha pojmů včetně variací albeda, oblačnosti, sezónnosti v advekci a účinnosti panelu, která je sama o sobě dynamická a ovlivněná místním prostředím. Tyto nejistoty jsou umocněny nedostatkem empirických údajů.

Obrázek 1



Ilustrace polední energetické výměny.

Za předpokladu stejných rychlostí přicházející energie ze slunce přechod z (**A**) vegetačního ekosystému na (**B**) instalaci fotovoltaické (PV) elektrárny významně změní dynamiku toku energie v oblasti. V rámci přirozených ekosystémů vegetace snižuje zachycování a ukládání tepla v půdách (oranžové šipky) a infiltrovaná voda a vegetace uvolňují teplo odvádějící latentní energetické toky při přechodu vodní páry do atmosféry prostřednictvím evapotranspirace (modré šipky). Tyto latentní tepelné toky jsou v typických FV instalacích dramaticky sníženy, což vede k větším citelným tepelným tokům (červené šipky). Zobrazeno je také zpětné vyzařování energie z FV panelů (hnědá šipka) a energie přenesená na elektřinu (fialová šipka).

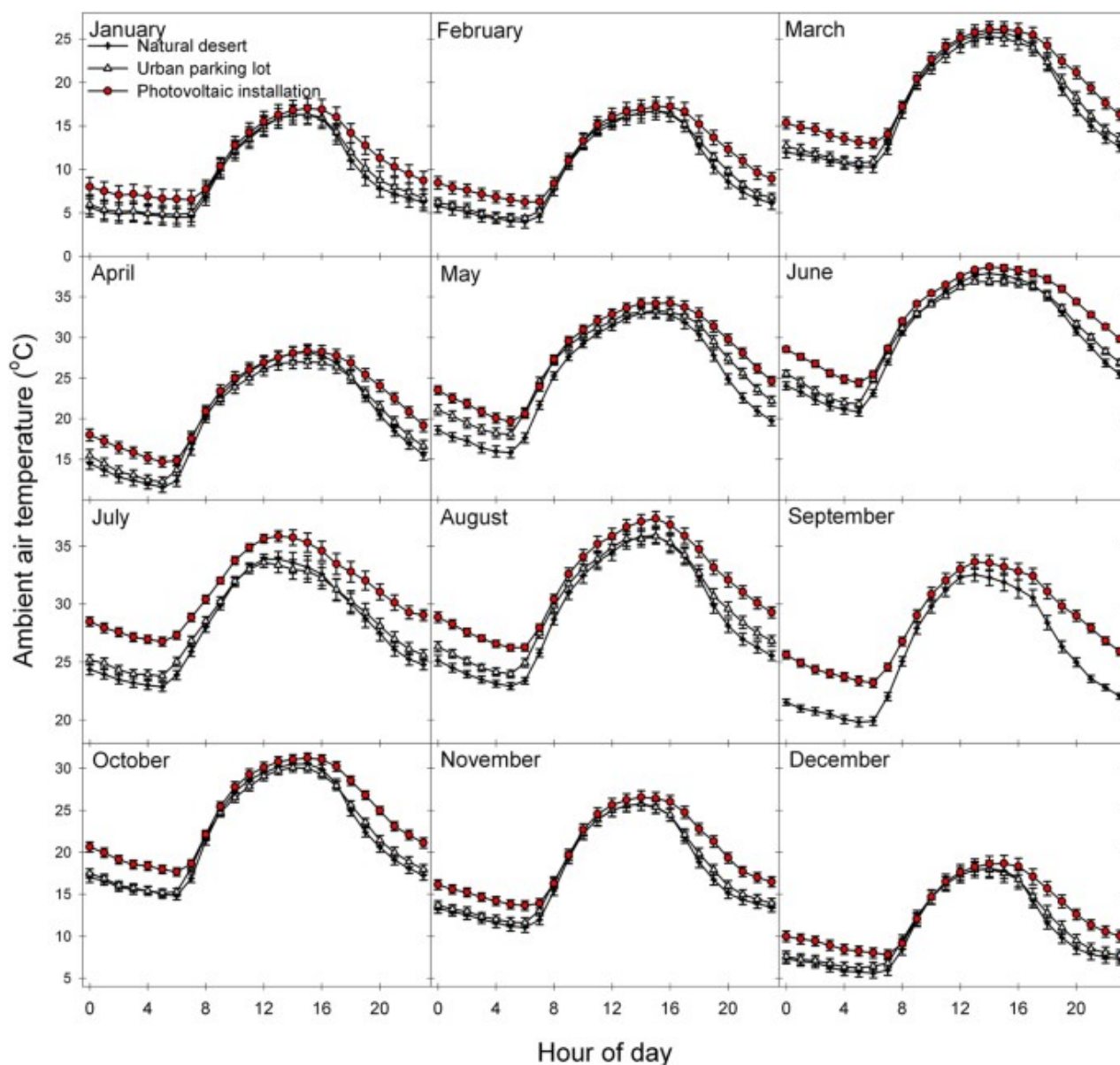
[Obrázek v plné velikosti >](#)

Nedostatek přímé kvantifikace PVHI efektu jsme řešili současným monitorováním tří lokalit, které představují přirozený pouštní ekosystém, tradiční zastavěné prostředí (parkoviště obklopené komerčními budovami) a FV elektrárnu. Efekt PVHI definujeme jako rozdíl teploty okolního vzduchu mezi FV elektrárnou a pouštní

krajinou. Podobně je UHI definován jako rozdíl teplot mezi zastavěným prostředím a pouští. Snížili jsme matoucí efekty variability v místní příchozí energii, teplotě a srážkách využitím míst nacházejících se v oblasti 1 km.

Na každém stanovišti jsme nepřetržitě sledovali teplotu vzduchu po dobu jednoho roku pomocí aspirovaných teplotních sond 2,5 m nad povrchem půdy. Průměrná roční teplota ve fotovoltaické instalaci byla $22,7 + 0,5$ °C, zatímco okolní pouštní ekosystém byl pouze $20,3 + 0,5$ °C, což ukazuje na efekt PVHI. Teplotní rozdíly mezi oblastmi se výrazně lišily v závislosti na denní době a měsíci v roce (obr. 2), ale FV instalace byla vždy vyšší nebo stejná jako teplota na jiných místech. Stejně jako v případě UHI efektu v suchých oblastech, PVHI efekt zpozdil večerní ochlazení okolních teplot, což ve všech ročních obdobích přineslo nejvýznamnější rozdíl v nočních teplotách. Roční průměrné půlnoční teploty byly ve fotovoltaické instalaci $19,3 + 0,6$ °C, zatímco okolní pouštní ekosystém byl pouze $15,8 + 0,6$ °C. Tento PVHI efekt byl významnější z hlediska skutečných stupňů oteplení ($+3,5$ °C) v teplých měsících (jaro a léto; obr. 3 vpravo).

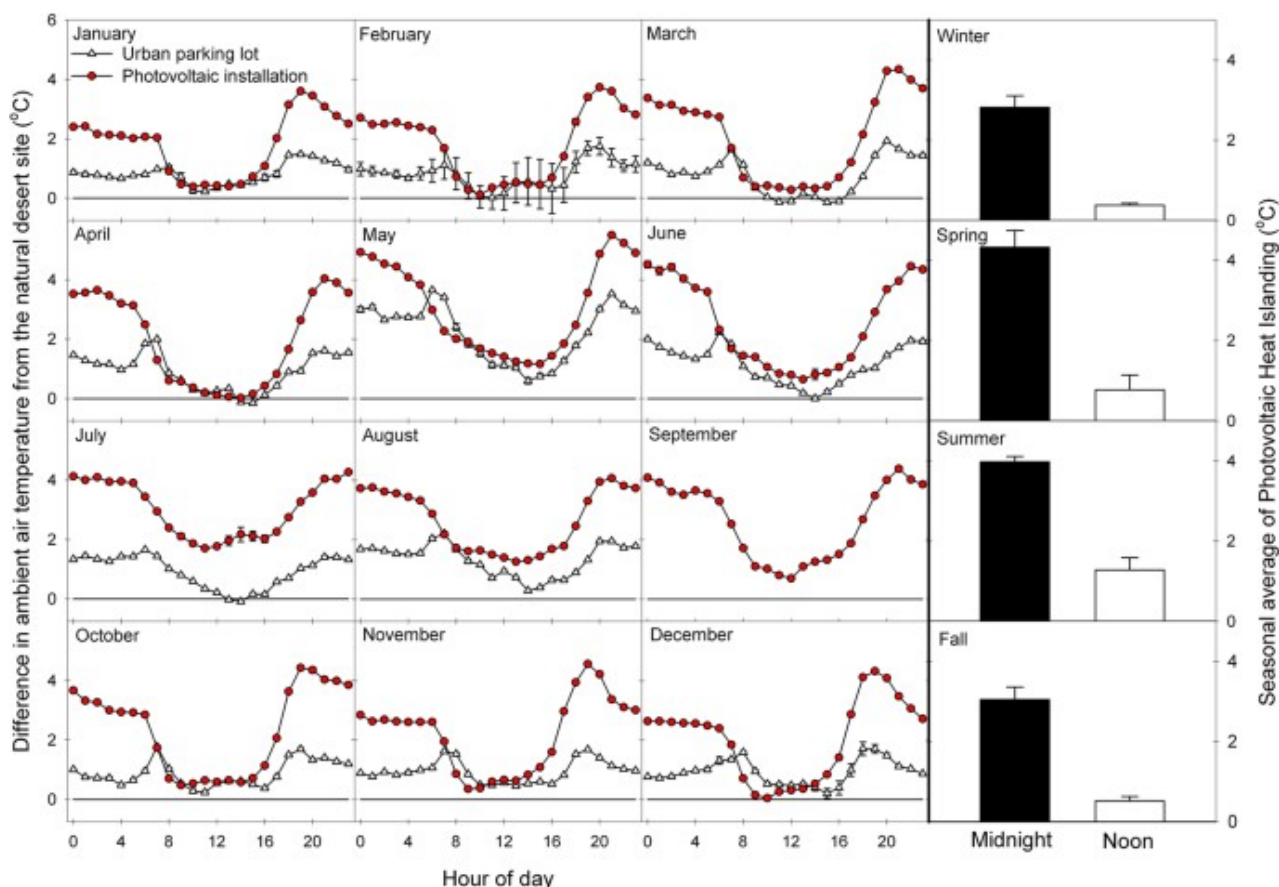
Obrázek 2



Průměrné měsíční okolní teploty v průběhu 24 hodin svědčí o efektu fotovoltaického tepelného ostrova (PVHI).

[Obrázek v plné velikosti >](#)

Obrázek 3



(Vlevo) Průměrné měsíční úrovně Photovoltaic Heat Islanding (rozdíl okolní teploty mezi FV instalací a pouští) a Urban Heat Islanding (rozdíl okolní teploty mezi městským parkovištěm a pouští). (Vpravo) Průměrné noční a denní teploty za čtyři sezónní období, ilustrující významný efekt PVHI ve všech ročních obdobích, s největším vlivem na okolní teploty v noci.

[Obrázek v plné velikosti](#) >

V obou scénářích PVHI i UHI větší množství exponovaných povrchů země ve srovnání s přírodními systémy absorbuje větší podíl vysokoenergetického krátkovlnného slunečního záření během dne. V kombinaci s minimálními rychlostmi transpirace odvádějící teplo z vegetace je úměrně vyšší množství akumulované energie během noci vyzařováno jako dlouhovlnné záření ve formě citelného tepla ([obr. 1](#)) ¹⁵ . Protože fotovoltaické instalace zavádějí stínění materiálem, který by sám o sobě neměl zadržovat mnoho příchozího záření, lze předpokládat, že efekt PVHI efektu by byl menší než efekt UHI. Zde jsme zjistili, že rozdíl ve večerních teplotách okolního vzduchu byl konzistentně větší mezi fotovoltaickou instalací a pouštním místem než mezi parkovištěm (UHI) a pouštním místem (

obr. 3). Efekt PVHI způsobil, že se okolní teplota pravidelně večer přibližuje nebo je o více než 4 °C teplejší než přirozená poušť, což v podstatě zdvojnásobuje nárůst teploty kvůli zde naměřenému UHI. Toto výraznější oteplení pod PVHI než UHI může být způsobeno tepelným zachycováním znovu vyzařovaného citelného tepelného toku pod FV generátory v noci. Rozdíly mezi dnem a přírodním ekosystémem byly mezi fotovoltaickými zařízeními a městskými parkovišti podobné, s výjimkou jarních a letních měsíců, kdy byl efekt PVHI výrazně větší než UHI ve dne. Během těchto teplých období byly průměrné půlnoční teploty 25,5 + 0,5 °C na FV instalaci a 23,2 + 0,5 °C na parkovišti, zatímco okolní pouštní ekosystém byl pouze 21,4 + 0,5 °C.

Zde prezentované výsledky ukazují, že efekt PVHI je skutečný a může významně zvýšit teploty nad instalacemi fotovoltaických elektráren ve srovnání s okolní divočinou. Jsou zapotřebí podrobnější měření základních příčin efektu PVHI, potenciální strategie zmírnění a relativní vliv PVHI v kontextu vnitřních uhlíkových kompenzací z používání této obnovitelné energie. Klademe tedy několik nových otázek a upozorňujeme na kritické neznámé, které vyžadují budoucí výzkum.

Jaký je fyzikální základ přeměn země, které mohou způsobit PVHI?

Předpokládáme, že efekt PVHI vyplývá z efektivního přechodu v tom, jak se energie přesouvá dovnitř a ven z fotovoltaické instalace oproti přírodnímu ekosystému. Nezbytným úkolem však zůstává měření jednotlivých složek modelu energetického toku. Tato měření jsou obtížná a nákladná, ale přesto jsou nepostradatelná pro identifikaci relativního vlivu mnoha potenciálních hybatelů zde nalezeného PVHI efektu. Podmínky prostředí, které určují vzorce dynamiky uhlíku, energie a vody v ekosystému, jsou řízeny prostředky, kterými se příchozí energie odráží nebo absorbuje. Protože nám chybí základní znalosti o změnách toků povrchové

energie a mikroklimatu ekosystémů procházejících touto změnou ve využívání půdy, máme jen malou schopnost předvídat důsledky z hlediska koloběhu uhlíku nebo vody ⁴, ⁸.

Jaké jsou fyzické důsledky PVHI a jak se liší podle regionu?

Velikost UHI je určena vlastnostmi města, včetně celkového počtu obyvatel ²⁶, ²⁷, ²⁸, prostorového rozsahu a geografické polohy tohoto města ²⁹, ³⁰, ³¹. Podobně bychom měli vzít v úvahu prostorové měřítko a geografickou polohu fotovoltaického zařízení při zvažování přítomnosti a důležitosti efektu PVHI. Dálkové snímání by mohlo být spojeno s pozemními měřeními pro určení laterálního a vertikálního rozsahu účinku PVHI. Potom bychom mohli určit, zda se velikost PVHI efektu škáluje s nějakou mírou elektrárny (například hustota panelu nebo prostorová stopa) a zda efekt PVHI zasahuje okolní oblasti, jako jsou divoké krajiny a sousedství. Vzhledem k tomu, že každá z různých oblastí po celém světě má odlišné úrovně pozadí vegetativního půdního pokryvu a termodynamické vzorce latentní a citlivé výměny tepla, je možné, že přechod z přirozené divoké krajiny do typické fotovoltaické elektrárny bude mít jiné výsledky, než je zde ukázáno. Nedostatek údajů o fyzických účincích tohoto důležitého a rostoucího využívání půdy a změny krajinného pokryvu vyžaduje více studií z reprezentativních ekosystémů.

Jaké jsou důsledky PVHI pro člověka a jak bychom mohli tyto účinky zmírnit?

S rostoucí popularitou výroby obnovitelné energie se hranice mezi obytnými oblastmi a rozsáhlejšími fotovoltaickými instalacemi zmenšují. Užší blízkost k obytným oblastem ve skutečnosti vede ke zvýšeným požadavkům na zónování a územní plánování pro větší fotovoltaické instalace ³², ³³ a obavy založené na PVHI ohledně potenciálního snížení hodnoty nemovitosti nebo zdravotních problémů spojených s tepelným komfortem člověka (HTC) ³⁴. Zmírnění efektu PVHI prostřednictvím cílené obnovy vegetace by mohlo mít synergické účinky při zmírnění degradace ekosystému

spojené s rozvojem fotovoltaického zařízení v užitkovém měřítku a zvýšení kolektivních ekosystémových služeb spojených s oblastí ⁴. Jaká jsou ale nejlepší zmírňující opatření? Jaké kompromisy existují, pokud jde o různé způsoby obnovy degradovaných FV instalací? Lze použít jiné modifikace albeda ke zmírnění závažnosti PVHI?

Aby byla tato zjištění plně kontextualizována z hlediska globálního oteplování, je třeba vzít v úvahu relativní význam (globálně zprůměrovaného) poklesu albeda v důsledku fotovoltaických elektráren a s nimi souvisejícího oteplování z PVHI oproti snížení emisí oxidu uhličitého spojeného s fotovoltaickými elektrárnami. . Zde prezentovaná data představují první experimentální a empirické zkoumání přítomnosti efektu tepelného ostrova spojeného s FV elektrárnami. Integrovaný přístup k fyzickým a sociálním rozměrům PVHI je klíčem k podpoře rozhodování o rozvoji PV.

Metody

Popisek stránky

Současně jsme monitorovali sadu lokalit, které reprezentují tradiční zastavěné městské prostředí (parkoviště) a transformaci z přírodního systému (nerozvinutá poušť) na 1 MW FVE (obr. 4 ; mapové podklady: Google). Abychom minimalizovali matoucí účinky variability v místní příchozí energii, teplotě a srážkách, identifikovali jsme místa v oblasti 1 km. Všechna místa se nacházela v hranicích sluneční zóny Vědeckotechnického parku University of Arizona (32,092150° severní šířky, 110,808764° západní délky; nadmořská výška: 888 m ASL). V okruhu 200 m od monitorovací stanice životního prostředí polosuché pouště se oblast skládá z řídké směsi semiaridních trav (*Sporobolus wrightii*, *Eragrostis lehmanniana* a *Muhlenbergia porteri*), kaktusů (*Opuntia* spp. a *Ferocactus* spp.) a příležitostných dřevité keře včetně keře kreosotového (*Larrea tridentata*), akátu bělotrnného (*Acacia constricta*) a mesquite sametového (*Prosopis velutina*). Zbývající plocha je holá půda. Tyto druhy se běžně vyskytují na nízko položených pouštních bajádách,

kreosotových křovinách a semiaridních pastvinách. Fotovoltaická instalace byla uvedena do provozu počátkem roku 2011, tedy tři celé roky předtím, kdy jsme zahájili monitorování v místě. Měřicí instalace jsme udržovali po dobu jednoho celého roku, abychom zachytili sezónní výkyvy v důsledku úhlu slunce a extrémů spojených s horkými a chladnými obdobími. Panely spočívají na jednoosém sledovacím systému, který se během dne otáčí z východu na západ. Parkoviště s přidruženou budovou sloužilo jako naše „městská“ lokalita a má srovnatelné prostorové měřítko jako naše fotovoltaická lokalita.

Obrázek 4



Experimentální místa. Monitorování (1) přírodního ekosystému polosuché pouště, (2) solární (PV) fotovoltaické instalace a (3) „městského“ parkoviště – typického zdroje městského tepelného ostrovování – v oblasti 1 km² umožnilo relativní kontrolu nad přicházející sluneční energie, což nám umožňuje kvantifikovat změny v lokalizované teplotě těchto tří prostředí během ročního časového období.

Obrázek Google Earth ukazuje sluneční zónu Vědeckotechnického parku Arizonské univerzity.

[Obrázek v plné velikosti >](#)

Monitorovací zařízení a monitorované proměnné

Teplota okolního vzduchu (°C) byla měřena zastíněnou aspirovanou teplotní sondou 2,5 m nad povrchem půdy (Vaisala HMP60, Vaisala, Helsinky, Finsko v poušti a Microdaq U23, Onset, Bourne, MA na parkovišti). Teplotní sondy byly křížově ověřeny na přesnost (těsnost teplotních odečtů napříč všemi sondami) na začátku experimentu. Měření teploty bylo zaznamenáváno ve 30minutových intervalech po celý 24hodinový den. Data byla zaznamenána na dataloggeru (CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah nebo Microstation, Onset, Bourne, MA). Data z tohoto pole přístrojů jsou zobrazena za roční období od dubna 2014 do března 2015. Data z parkoviště za září 2014 byla ztracena kvůli problémům s napájením dataloggeru.

Statistická analýza

Měsíční průměry hodinových (hodinových) dat byly použity k porovnání napříč přírodními polosuchými poušti, městskými a fotovoltaickými lokalitami. Efekt Fotovoltaického tepelného ostrova (PVHI) byl vypočítán jako rozdíly v těchto hodinových průměrech mezi místem PV a přírodním pouštním místem a odhady efektu Urban Heat Island (UHI) byly vypočteny jako rozdíly v hodinových průměrech mezi místem městského parkoviště a přírodní pouštní místo. Použili jsme půlnoční a polední hodnoty ke zkoumání maximálních a minimálních teplotních rozdílů mezi třemi místy měření a k testování významnosti tepelných ostrovů v těchto časech. Srovnání mezi místy byla provedena pomocí Tukeyho testu upřímně významného rozdílu (HSD) ³⁵. Standardní chyby pro výpočet HSD byly provedeny pomocí sdružených půlnočních a poledních hodnot pro sezónní období zimy (leden-březen), jaro (duben-červen), léto (červenec-září) a podzim (říjen-prosinec). Sezónní analýzy nám umožnily identifikovat variace v průběhu ročního období a dát do souvislosti vzorce účinků PVHI nebo UHI s obdobími vysokých nebo nízkých průměrných teplot, abychom prozkoumali korelace mezi parametry prostředí na pozadí a lokalizovanými tepelnými ostrovy.

dodatečné informace

Jak citovat tento článek : Barron-Gafford, GA *et al* . Efekt fotovoltaického tepelného ostrova: Větší solární elektrárny zvyšují místní teploty. *Sci. zástupce* . **6** , 35070; doi: 10.1038/srep35070 (2016).

Reference

- IPCC. Zvláštní zpráva IPCC o obnovitelných zdrojích energie a zmírňování změny klimatu. Připraveno pracovní skupinou III Mezivládního panelu pro změnu klimatu (Cambridge University Press, Cambridge, Spojené království a New York, NY, USA, 2011).
- REN21. Zpráva o globálním stavu obnovitelných zdrojů za rok 2014 (Paříž: sekretariát REN21; ISBN 978-3-9815934-2-6, 2014).
- US Energy Information Administration. Měsíční energetický přehled z června 2016. Ministerstvo energetiky USA. Úřad pro energetickou statistiku. Washington, DC (2016).
- Hernandez, RR a kol. Environmentální dopady užitkové solární energie. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 29, 766–779, doi: 10.1016/j.rser.2013.08.041 (2014).

[Článek](#) [Google Scholar](#)

- Bazilian, M. a kol. Znovu zvažovat ekonomiku fotovoltaické energie. *Obnovitelná energie* 53, 329–338, doi: 10.1016/j.renene.2012.11.029 (2013).

[Článek](#) [Google Scholar](#)

- Dale, VH, Efroymson, RA & Kline, KL Spojení využití půdy, změny klimatu a energie. *Landsc. Ecol.* 26, 755–773, doi: 10.1007/s10980-011-9606-2 (2011).

[Článek](#) [Google Scholar](#)

- Copeland, HE, Pocewicz, A. & Kiesecker, JM In Energy Development and Wildlife Conservation in Western North America (ed Naugle, David E.) 7-22 (Springer, 2011).
- Armstrong, A., Waldron, S., Whitaker, J. & Ostle, NJ Účinky větrné farmy a solárního parku na koloběh uhlíku mezi rostlinou a půdou: nejisté dopady změn přízemního mikroklimatu. *Global Change Biology* 20, 1699–1706, doi: 10.1111/gcb.12437 (2014).

[Článek](#) [ADS](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

- Hernandez, RR, Hoffacker, MK & Field, CB Efektivní využívání půdy k uspokojení potřeb udržitelné energie. *Nature Climate Change* 5, 353–358, doi: 10.1038/nclimate2556 (2015).

[Článek](#) [ADS](#) [Google Scholar](#)

- Hernandez, RR, Hoffacker, MK & Field, CB Land-Use účinnost velké solární energie. *Environmental Science & Technology* 48, 1315–1323, doi: 10.1021/es4043726 (2014).

[Článek](#) [CAS](#) [ADS](#) [Google Scholar](#)

- Pociask, S. & Fuhr, JP Jr. Progress Denied: Studie o potenciálním ekonomickém dopadu povolovacích problémů, kterým čelí navrhované energetické projekty (Obchodní komora USA, 2011).
- Michálek, JL a kol. Satelitní měření albeda a radiační teploty z polopouštních pastvin podél hranice Arizona/Sonora. *Změna klimatu* 48, 417–425, doi: 10.1023/a:1010769416826 (2001).

[Článek](#) [Google Scholar](#)

- Burg, BR, Ruch, P., Paredes, S. & Michel, B. Účinky umístění a účinnosti na radiační působení solárních instalací. *11. mezinárodní konference o fotovoltaických systémech Ceonctrator* **1679** , doi: 10.1063/1.4931546 (2015).

- Solecki, WD a kol. Zmírnění efektu tepelného ostrova v městském New Jersey. *Environmental Hazards* 6, 39–49, doi: 10.1016/j.hazards.2004.12.002 (2005).

Článek Google Scholar

- Oke, TR Energetický základ městského tepelného ostrova (Symons Memorial Lecture, 20. května 1980). *Quarterly Journal, Royal Meteorological Society* 108, 1–24 (1982).

ADS Google Scholar

- Smith, SD, Patten, DT & Monson, RK Účinky uměle vynuceného stínu na ekosystém Sonorské pouště: mikroklíma a vegetace. *Journal of Arid Environments* 13, 65–82 (1987).

Google Scholar

- Taha, H. Potenciál vlivu teploty vzduchu při rozsáhlém nasazení solárních fotovoltaických polí v městských oblastech. *Solar Energy* 91, 358–367, doi: 10.1016/j.solener.2012.09.014 (2013).

Článek CAS ADS Google Scholar

- Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J.-L., Briottet, X. & Lemonsu, A. Solární panely snižují jak globální oteplování, tak Urban Heat Island. *Frontiers in Environmental Science* 2, 14, doi: 10.3389/fenvs.2014.00014 (2014).

Článek Google Scholar

- Roberts, BJ Solar výrobní potenciál po celých Spojených státech. Ministerstvo energetiky, Národní laboratoř pro obnovitelné zdroje energie.

<http://www.climatecentral.org/news/eastern-us-solar-development-18714> . 19. září (2012).

- Monteith, JL & Unsworth, MH *Principles of Environmental Physics Third Edition* (Elsevier, San Diego, CA, USA, 1990).

- Campbell, GS & Norman, JM Úvod do biofyziky životního prostředí *druhé vydání* (Springer, New York, USA, 1998).
- Breshears, DD Kontinuum pastvin-les: trendy ve vlastnostech ekosystémů pro mozaiky dřevin? *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, 96–104, doi: 10.1890/1540-9295(2006)004[0096:tgctie]2.0.co;2 (2006).

Článek [Google Scholar](#)

- Oke, podnebí hraniční vrstvy TR. *Druhé vydání* (Routledge: New York,, 1992).
- Ahrens, CD Meteorology Today. Úvod do počasí, klimatu a životního prostředí 8. *vydání* (Thompson, Brooks/Cole: USA, 2006).
- Fthenakis, V. & Yu, Y. Analýza potenciálu efektu heatisland ve velkých solárních farmách. Analýza potenciálu efektu heatisland ve velkých solárních farmách; 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference 3362–3366 (2013).
- Santamouris, M. Analýza velikosti a charakteristik tepelného ostrova ve stovce asijských a australských měst a regionů. *Science of The Total Environment* 512–513, 582–598, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.060 (2015).

Článek [CAS](#) [ADS](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

- Dobře, TR Velikost města a městský tepelný ostrov. *Atmosférické prostředí* 7, 769–779, doi: 10.1016/0004-6981(73)90140-6 (1973).

Článek [ADS](#) [Google Scholar](#)

- Wang, W.-C., Zeng, Z. & Karl, TR Městské tepelné ostrovy v Číně. *Geophysical Research Letters* 17, 2377–2380, doi: 10.1029/GL017i013p02377 (1990).

Článek ADS Google Scholar

- Nasrallah, HA, Brazel, AJ & Balling, RC Jr. Analýza městského tepelného ostrova Kuwait City. *International Journal of Climatology* 10, 401–405 (1990).

Článek ADS Google Scholar

- Montávez, JP, Rodríguez, A. & Jiménez, JI Studie Urban Heat Island of Granada. *International Journal of Climatology* 20, 899-911, doi: 10.1002/1097-0088(20000630)20:8<899::aid-joc433>3.0.co;2-i (2000).

Článek ADS Google Scholar

- Buyantuyev, A. & Wu, J. Městské tepelné ostrovy a heterogenita krajiny: Spojování časoprostorových variací povrchových teplot s krajinným pokryvem a socioekonomickými vzory. *Landsc. Ecol.* 25, 17–33, doi: 10.1007/s10980-009-9402-4 (2010).

Článek Google Scholar

- White, JG Modelová vyhláška pro energetické projekty; Oregonské ministerstvo energetiky.
<http://www.oregon.gov/ENERGY/SITING/docs/ModelEnergyOrdinance.pdf> (2005).
- Lovelady, A. Plánování a zónování pro Solar v Severní Karolíně. University of North Carolina v Chapel Hill, School of Government (2014).

- Coutts, AM, Tapper, NJ, Beringer, J., Loughnan, M. & Demuzere, M. Watering our cities: Kapacita Water Sensitive Urban Design pro podporu městského chlazení a zlepšení lidského tepelného komfortu v australském kontextu. *Pokrok ve fyzické geografii* 37, 2–28, doi: 10.1177/0309133312461032 (2013).

Článek [Google Scholar](#)

- Zar, JH *Biostatistical analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, str. 215 (1974).

Stáhněte si reference ↓

Poděkování

Autoři děkují Kenu Marcusovi za přístup do solární zóny University of Arizona a do Vědeckotechnického parku a společnosti Tucson Electric Power za přístup k jejich fotovoltaické instalaci. Tento výzkum byl podpořen Institutem životního prostředí University of Arizona a Úřadem pro výzkum a vývoj prostřednictvím iniciativy Water, Environmental and Energy Solutions financované TRIF.

Informace o autorovi

Autoři a přidružení

1. School of Geography & Development, University of Arizona, Tucson, AZ, USA

Greg A. Barron-Gafford & Rebecca L. Minor

2. Úřad pro výzkum a vývoj; College of Science, Biosphere 2, University of Arizona, Tucson, AZ, USA

Greg A. Barron-Gafford & Rebecca L. Minor

3. Nevada Center of Excellence, Desert Research Institute, Las Vegas, NV, USA

Nathan A. Allen

4. Katedra fyziky, University of Arizona, Tucson, AZ, USA

Alex D. Cronin

5. Katedra elektrotechniky a počítačového inženýrství, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI, USA

Adria E. Brooksová

6. Department of Environmental Science & Technology, University of Maryland, College Park, MD, USA

Mitchell A. Pavao-Zuckerman

Příspěvky

GAB-G., RLM a NAA zřídily výzkumná místa a nainstalovaly monitorovací zařízení. GAB-G. řízený výzkum a RLM provedla většinu údržby webu. GAB-G., NAA, ADC a MAP-Z. vedl úsilí o zajištění financování výzkumu. Všichni autoři diskutovali o výsledcích a přispěli k rukopisu.

Etická prohlášení

Konkurenční zájmy

Autoři neuvádějí žádné konkurenční finanční zájmy.

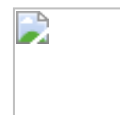
Práva a oprávnění

Tato práce podléhá licenci Creative Commons Attribution 4.0 International License. Obrázky nebo jiný materiál třetích stran v tomto článku jsou zahrnuty v licenci Creative Commons k článku, pokud není v kreditní hranici uvedeno jinak; pokud materiál není zahrnut pod licenci Creative Commons, uživatelé budou muset

získat povolení od držitele licence k reprodukci materiálu. Chcete-li zobrazit kopii této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Dotisky a oprávnění

O tomto článku



Citujte tento článek

Barron-Gafford, G., Minor, R., Allen, N. a kol. Efekt fotovoltaického tepelného ostrova: Větší solární elektrárny zvyšují místní teploty. *Sci Rep* **6**, 35070 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep35070>

Stáhnout citaci ↓

- Přijato 26. května 2016
- Přijato 23. září 2016
- Publikováno 13. října 2016
- DOI (identifikátor digitálních objektů) <https://doi.org/10.1038/srep35070>

Sdílejte tento článek

Každý, s kým sdělíte následující odkaz, bude moci číst tento obsah:

Poskytuje iniciativa Springer Nature SharedIt pro sdílení obsahu

Předměty

- Zásah do životního prostředí
- Obnovitelná energie

Komentáře

Odesláním komentáře souhlasíte s tím, že se budete řídit našimi Podmínkami a Pokyny pro komunitu . Pokud najdete něco urážlivého nebo co není v souladu s našimi podmínkami nebo pokyny, označte to jako nevhodné.