

Rozumná energetická transformace v podmínkách České republiky

Tomáš Jungwirth
Martin Madej

klimatický tým Asociace pro mezinárodní otázky

Výbor pro udržitelnou energetiku a dopravu RVUR
28. května 2020



AMO.CZ

Klimatický tým AMO (1)

- Projekt Změna klimatických politik podpořený Evropskou klimatickou nadací
- Tematicky orientovaný tým analytiků v rámci Výzkumného centra
- Snaha posílit analytickou základnu klimaticky relevantních témat v ČR
- Přinášení zahraniční perspektivy s důrazem na evropský kontext
- Základ obsahové práce = série policy paperů, jejich následná medializace a šíření mezi stakeholdery
- <http://www.amo.cz/zmena-klimatickych-politik/>



Klimatický tým AMO (2)

- Aktuálně deset členek a členů
- Pokrývaná témata
 - Naplňování Pařížské dohody na světové úrovni
 - Klimatické cíle EU a ČR
 - Energetická transformace vč. sociálních aspektů
 - Udržitelné finance
 - Bezpečnostní aspekty
 - Etické otázky
 - Modely a scénáře nízkouhlíkové budoucnosti



ADÉLA DENKOVÁ

Analytička
Výzkumného centra
AMO & předsedkyně
Správní rady AMO



PETR BOHÁČEK

Analytik Výzkumného
centra AMO



**ROMANA
BŘEZOVSKÁ**

Analytička
Výzkumného centra
AMO



JÁCHYM SRB

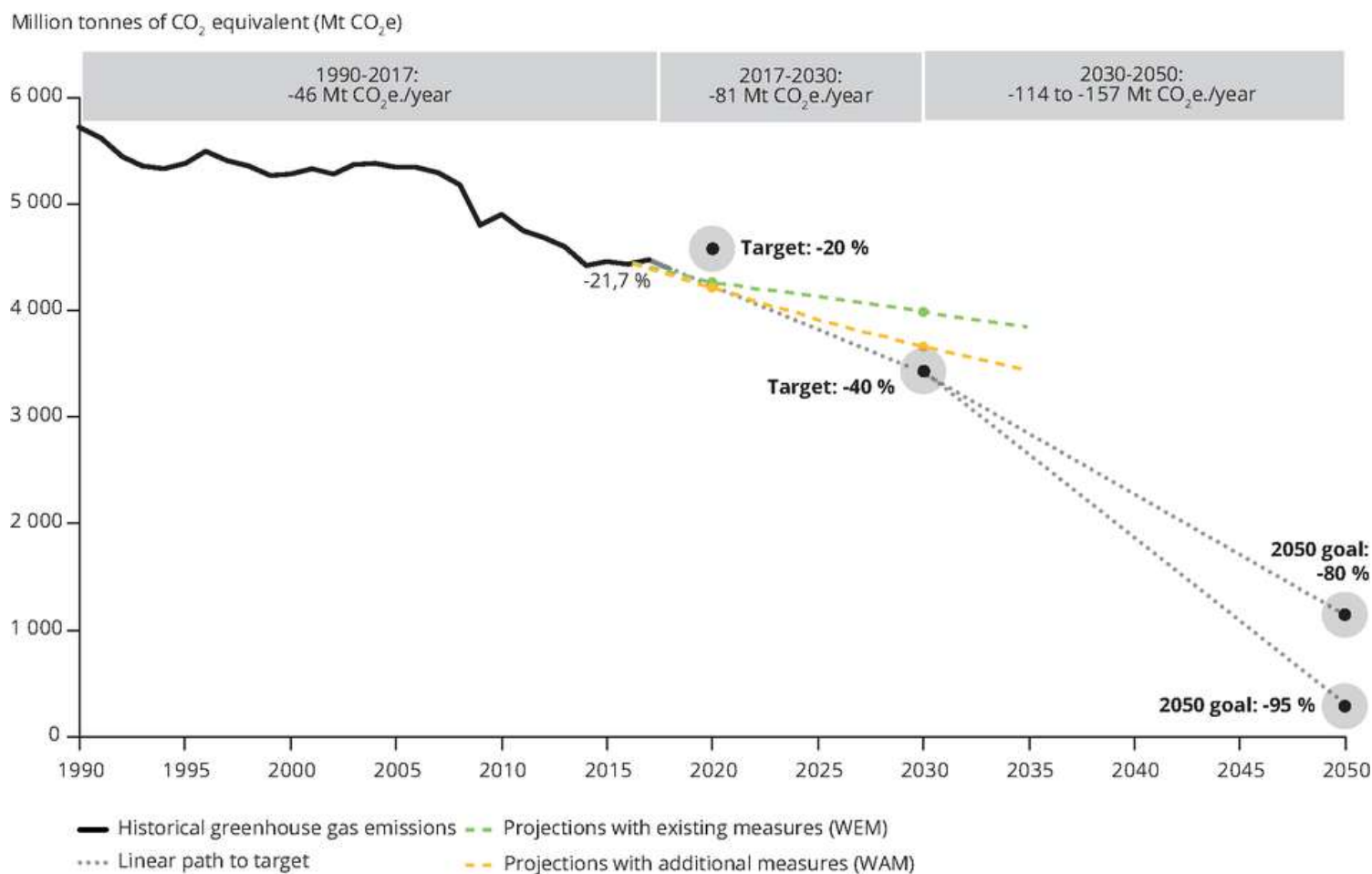
Analytik Výzkumného
centra AMO



MARTIN MADEJ

Analytik Výzkumného
centra AMO

Kontext energetické transformace: klimatické cíle EU a Zelená dohoda



Zdroj: European Environment Agency (2019)

Kontext energetické transformace: specifika, možnosti a plány ČR

ČR je plně soběstačná ve výrobě elektřiny a struktura jejích zdrojů je stabilní. Dosahuje rovněž jednu z celosvětově nejvyšších hodnot v dostupnosti připojení k elektrické energii (2. místo v žebříčku indexu konkurenceschopnosti Světového ekonomického fóra). Slabými stránkami jsou dovozní závislost na ropě a zemním plynu a prozatím velká závislost na výrobě energie z uhlí, spojená s významným množstvím emisí skleníkových plynů.

Jedním z našich dlouhodobých cílů bude zvyšovat podíl „bezemisní energie“ získané z obnovitelných a jaderných zdrojů tak, aby ČR směřovala k cílům EU daným v oblasti energeticko-klimatické politiky pro roky 2030 až 2050. Aby bylo možné nadále zajistit dostatečnou produkci energie pro soběstačnost země v plné míře i v budoucnu, bude nutné vystavět nový jaderný zdroj v lokalitě Dukovany, resp. Temelín, a zároveň výrazně navýšit podíl obnovitelných

zdrojů energie. Zároveň se bude česká energetika postupně odklánět od využívání uhlí. Energetický mix bude koncipován dle následujících kritérií: bezpečnost, ekonomická efektivnost, ekologické faktory, geografické podmínky, technologické možnosti a kapacity v Evropě. Náš přístup k hrozbě klimatické změny musí být pragmatický a zároveň zodpovědný – garantující energetickou soběstačnost a udržitelnost pro budoucí generace.

Na úrovni domácností se v příštích letech bude odehrávat malá energetická revoluce. Právě domácnosti totiž budou ve stále větší míře využívat moderní decentralní technologie, včetně výroby a akumulace energie, a české domy tak budou stále více „smart“. Obdobné trendy budeme sledovat i u soukromého sektoru a veřejné správy. Budeme podporovat projekty energetických úspor.

Mezi priority patří zejména:

- ✓ **Vyvážený energetický mix** – zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie
- ✓ **Úspory energie** a zvyšování energetické účinnosti při přenosu, distribuci a konečné spotřebě
- ✓ **Energetická bezpečnost a soběstačnost** při zachování konkurenceschopných a sociálně přijatelných cenách elektřiny a tepla
- ✓ **Modernizace distribučních soustav**
- ✓ **Přechod k bezemisním zdrojům** energie a minimalizace dopadů na životní prostředí
- ✓ **Chytré energetické projekty** pro regiony města a obce, chytré sítě, inteligentní domácnosti

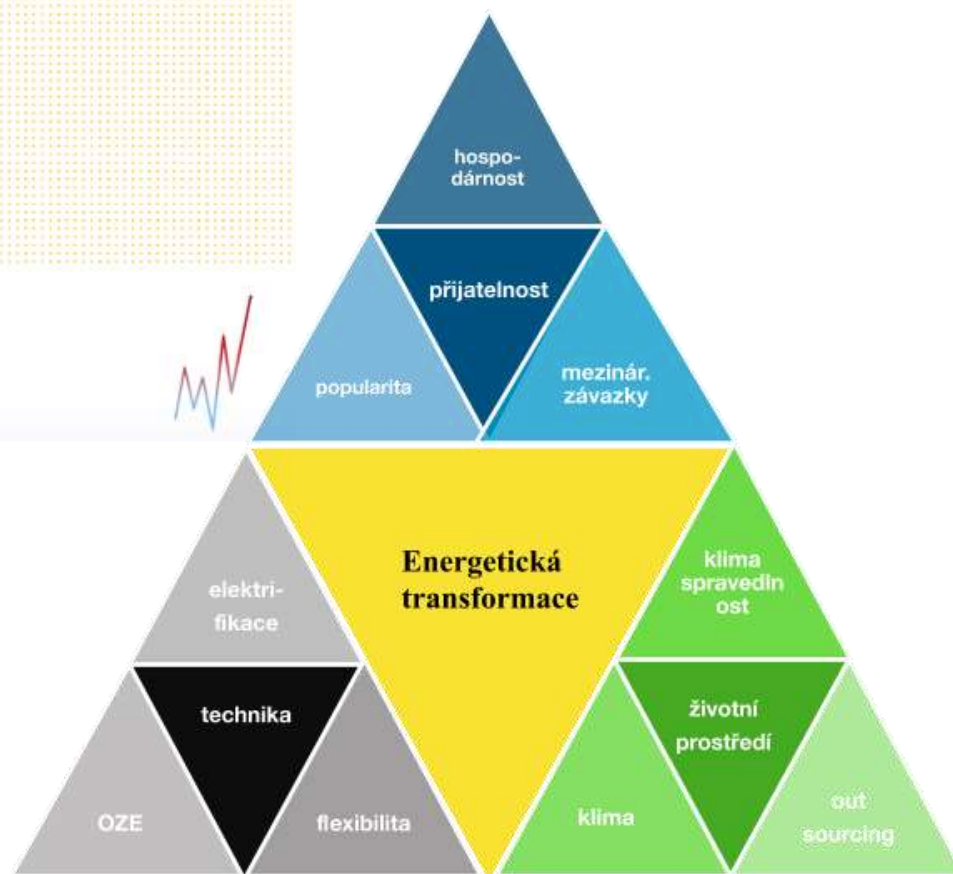
Zdroj: Národní investiční plan ČR 2020-2050



Rozumná energetická transformace v podmínkách České republiky z perspektivy roku 2030




Martin Madej

KLIMATICKÝ POLICY PAPER č. 3



Výběr
mezi levnou pozemní fotovoltaikou
a drahou fotovoltaikou na
střechách,
je falešným dilematem.

Budoucnost je v levné fotovoltaiice
mimo střechy a půdu.

Agrfotvltaika

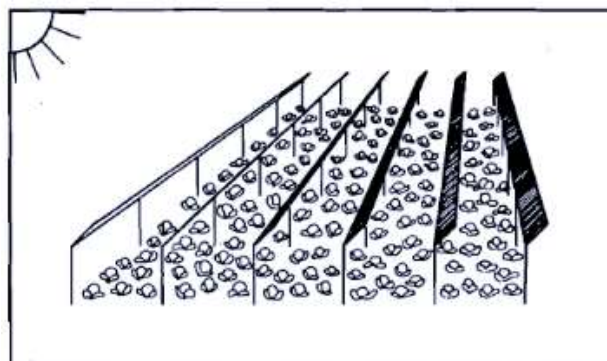
...co to je?

Agrofotovoltaika (agrivoltaika, agro-FVE, AV)

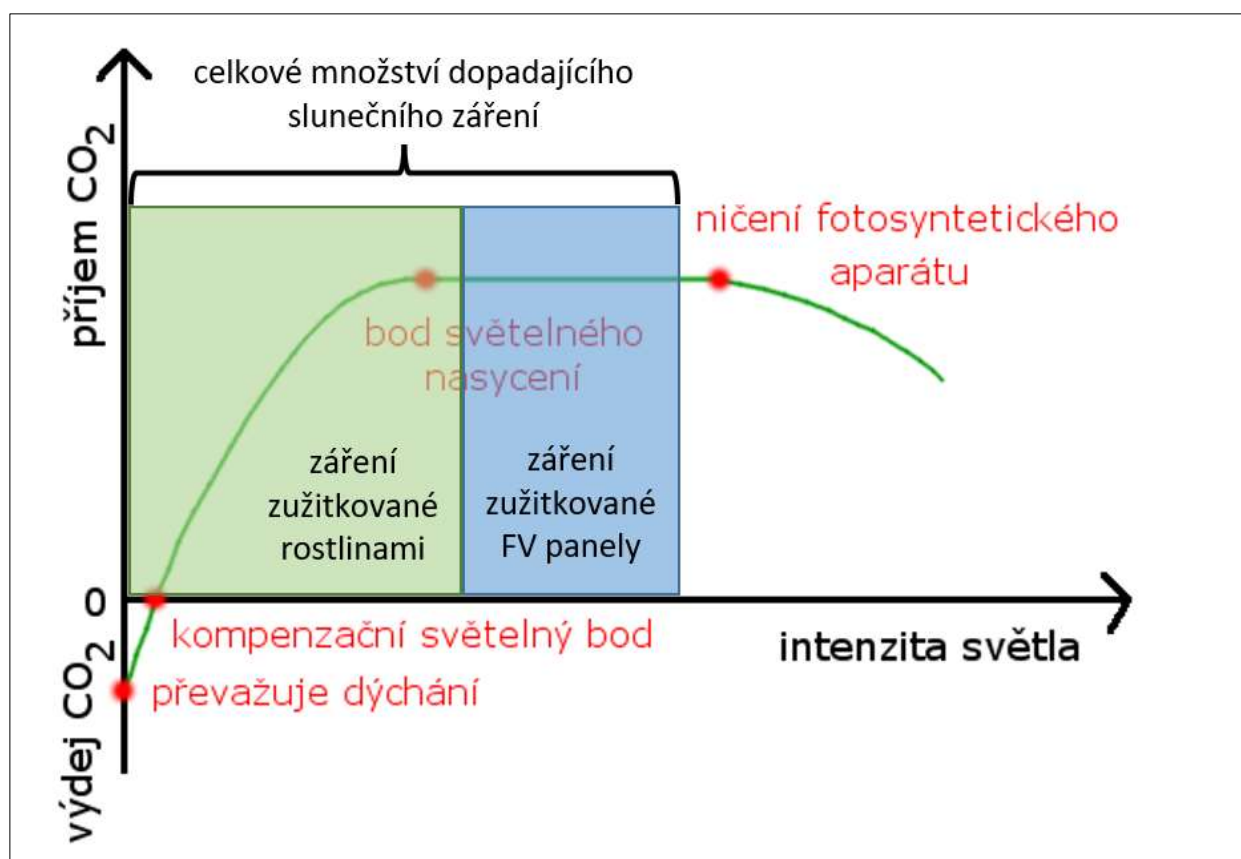
- = čistý a obnovitelný zdroj energie
- zvyšuje hospodářský výnos z pozemku 1,6x - 1,9x oproti konvenčnímu hospodaření
- řeší naše dilema mezi polem a velkokapacitní (levnější) fotovoltaikou



Princip

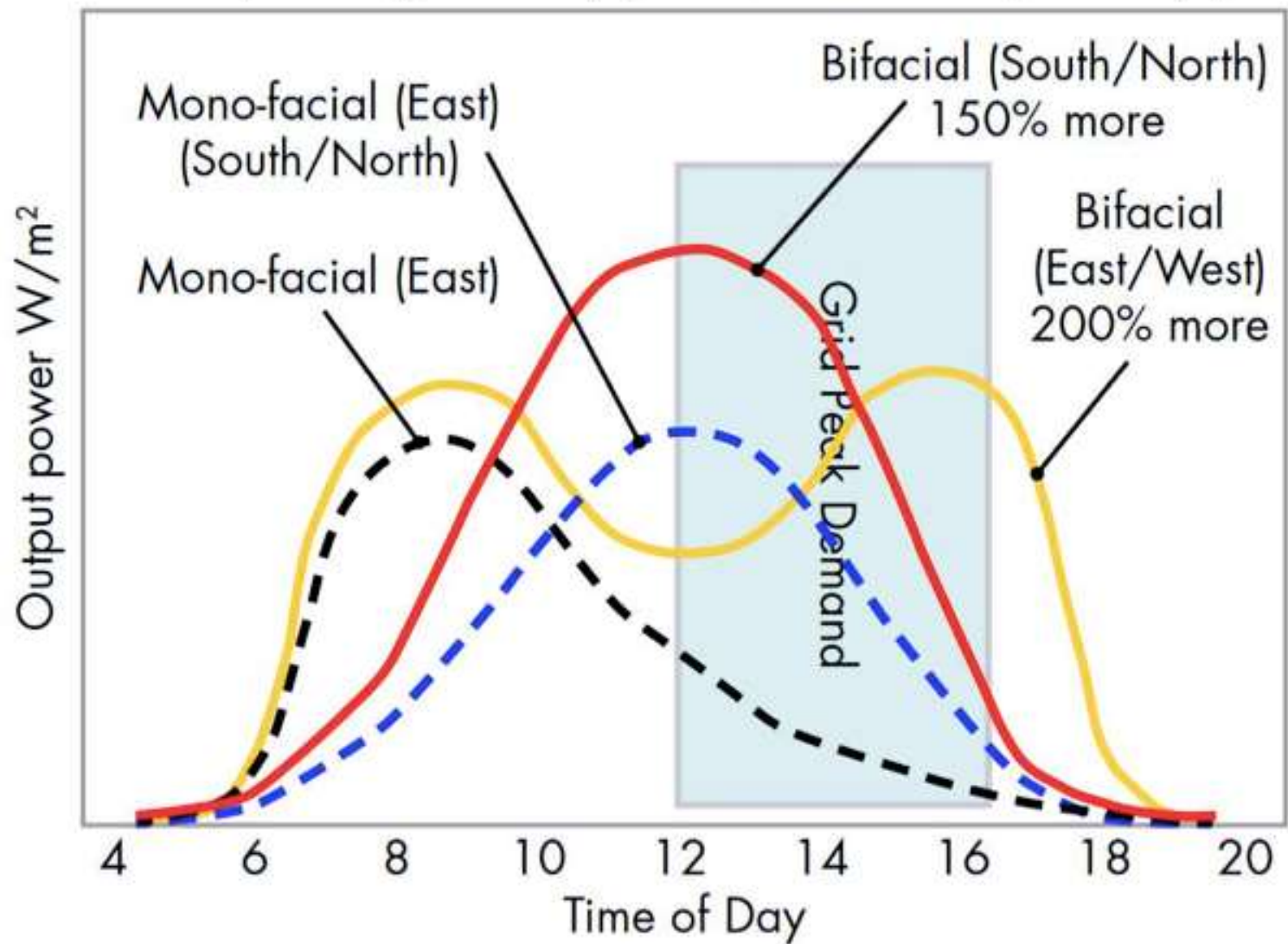


GOETZBERGER, A.; ZASTROW, A. (1982-01-01). "On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation". International Journal of Solar Energy. 1 (1): 55–69.



Zdroj: Odřich Sklenář

Yearly average of daily power distribution (365 days)



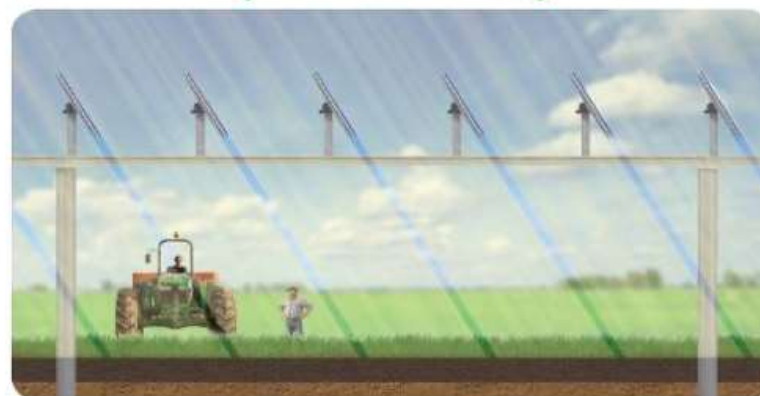
Average daily power distribution per year (365 days)

NORMAL TRACKING

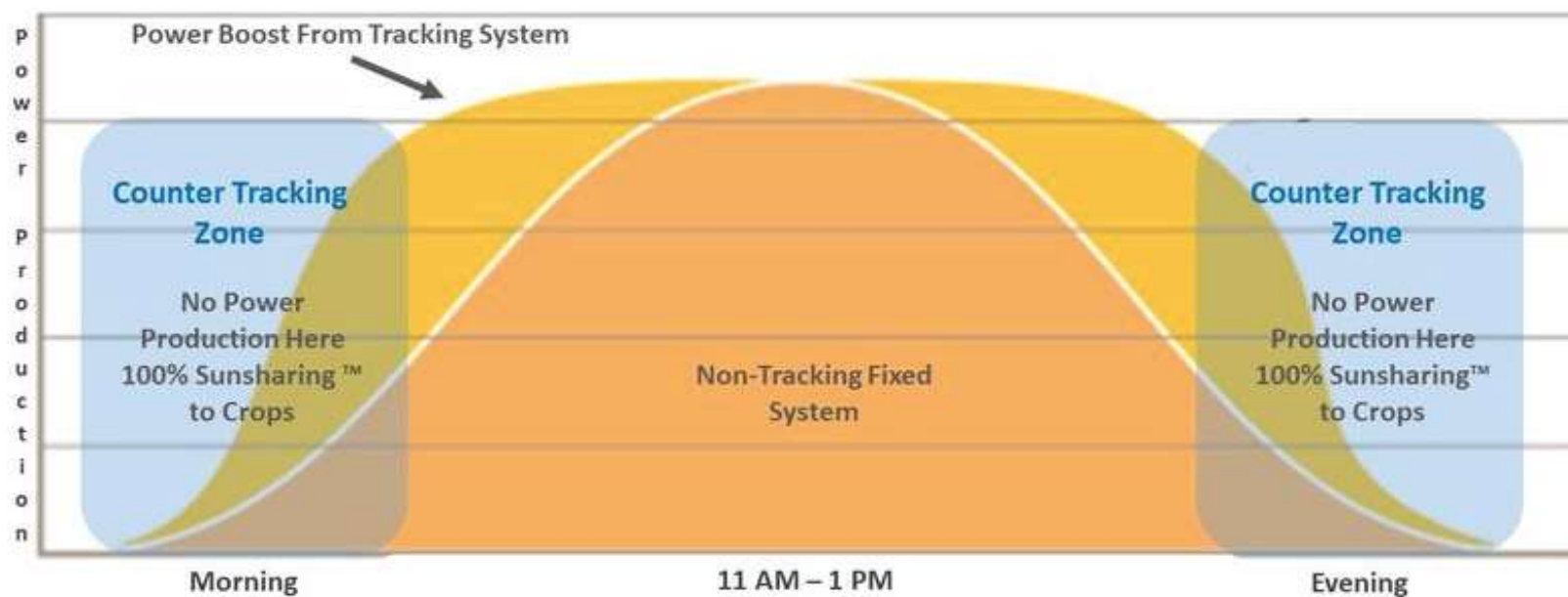


Solar panels are perpendicular to the sunlight and provide partial shading

COUNTER TRACKING



The opposite of Normal Tracking where panels are parallel to the sunlight allowing maximum sunlight on crops



Zdroj: SolAgra®



Vítězové agrivoltaiky



Zdroje: M. Beck, G. Bopp, A. Goetzberger, T. Obergfell, C. Reise, S. Schindele: 'Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic - Optimization of Orientation and Harvest'; Amaducci S, Yin X, Colauzzi M. Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. Appl Energy 2018;220:545–61; Sekiyama T, Nagashima A. Solar sharing for both food and clean energy production: performance of agrivoltaic systems for **corn** a typical shade-intolerant crop. Environments 2019;6(6):65; Malu PR, Sharma US, Pearce JM. Agrivoltaic potential on **grape** farms in India. Sustain Energy Technol Assess 2017;23:104–10; Elamri Y, Cheviron B, Lopez J-M, Dejean C, Belaud G. Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: application to irrigated **lettuces**. Agric Water Manag 2018;208:440–53; ...

Průhledné solární články!



Ideální podmínky

- plodina vhodná pro agrivoltaiku
- rovinatý pozemek pravidelného tvaru
- mírné povětrí, mírné teploty, nižší vlhkost vzduchu



APV \cap Cirkulární ekonomika

- Elektrifikace zemědělské činnosti, vč. elektrotraktorů, farmbotů, lisů, drtiček atd.

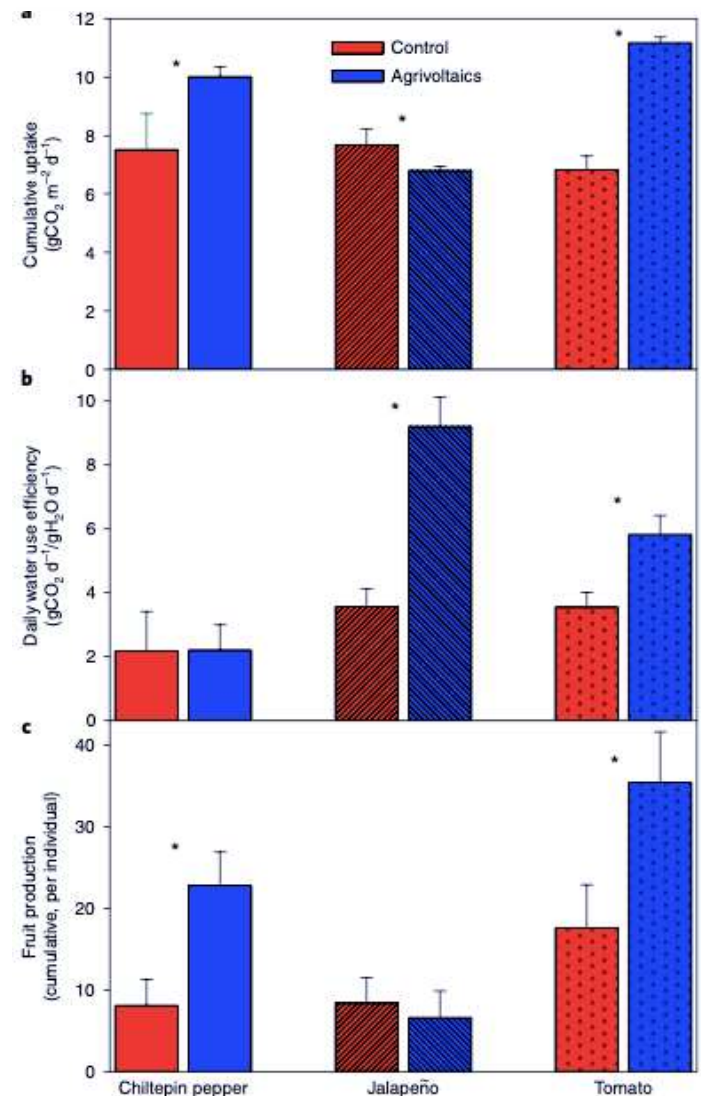
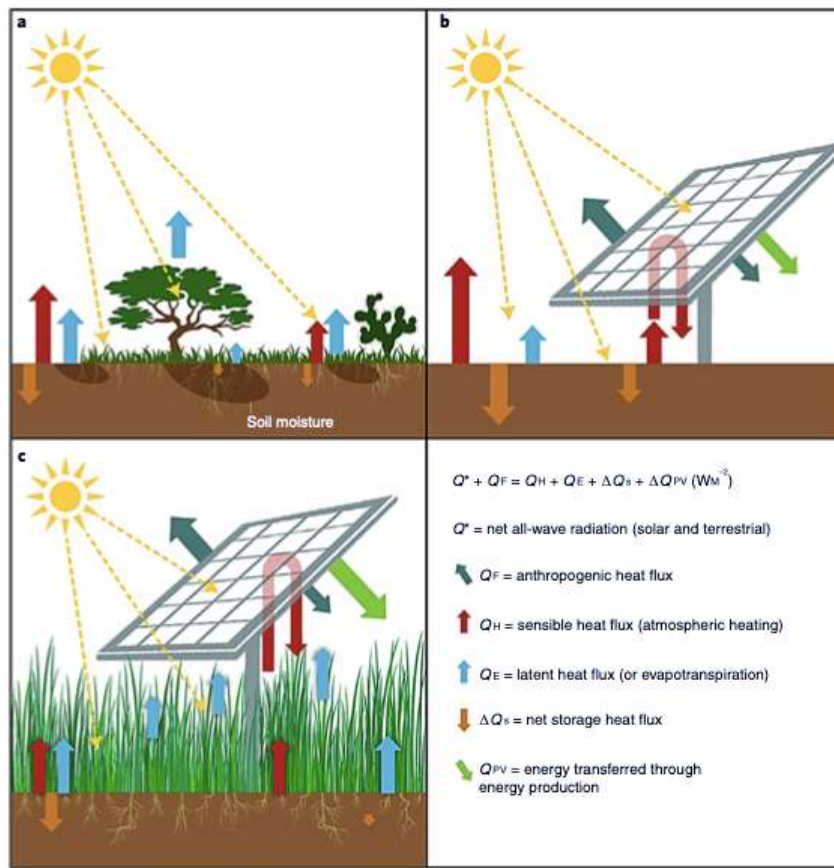


Agrivoltaika:
Ověření konceptu
(*proof of concept*)

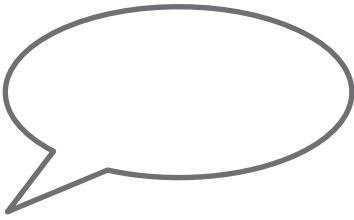
Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands

Greg A. Barron-Gafford^{1,2*}, Mitchell A. Pavao-Zuckerman³, Rebecca L. Minor^{1,2}, Leland F. Sutter^{1,2}, Isaiah Barnett-Moreno^{1,2}, Daniel T. Blackett^{1,2}, Moses Thompson^{1,4}, Kirk Dimond⁵, Andrea K. Gerlak¹, Gary P. Nabhan⁶ and Jordan E. Macknick⁷

The vulnerabilities of our food, energy and water systems to projected climatic change make building resilience in renewable energy and food production a fundamental challenge. We investigate a novel approach to solve this problem by creating a hybrid of colocated agriculture and solar photovoltaic (PV) infrastructure. We take an integrative approach—monitoring microclimatic conditions, PV panel temperature, soil moisture and irrigation water use, plant eco-physiological function and plant



- 2x vyšší výnos
- O 65 % vyšší absorpce CO_2
- O 65 % nižší spotřeba vody



development of a PV site, but also increases the collective ecosystem services associated with an area¹. We should no longer follow the narrow understanding of land use that has averred a zero-sum-game of competition between renewable energy and agricultural food production. In fact, we have shown that each portion of the food-energy-water nexus can respond positively to the collocation of these seemingly disparate needs. In this novel ecosystem,

Barron-Gafford et al.: Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands (2019), p. 6.

Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands

Elnaz H. Adeh, Stephen P. Good, M. Calaf & Chad W. Higgins 

Scientific Reports **9**, Article number: 11442 (2019) | [Cite this article](#)

14k Accesses | **3** Citations | **943** Altmetric | [Metrics](#)

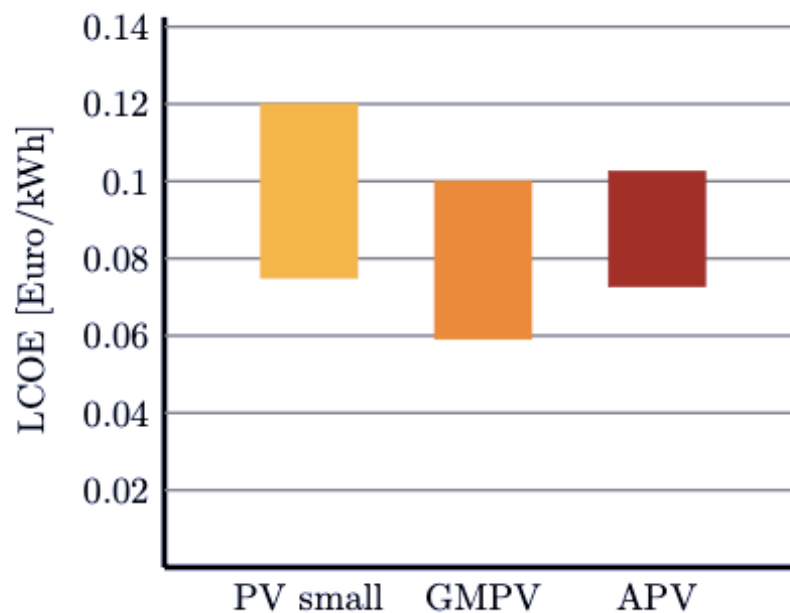
Abstract

Solar energy has the potential to offset a significant fraction of non-renewable electricity demands globally, yet it may occupy extensive areas when deployed at this level. There is growing concern that large renewable energy installations will displace other land uses. Where should future solar power installations be placed to achieve the highest energy production and best use the limited land resource? The premise of this work is that the solar panel efficiency is a function of the location's microclimate within which it is immersed. Current studies largely ignore many of the environmental factors that influence Photovoltaic (PV) panel function. A model for solar panel efficiency that incorporates the influence of the panel's microclimate was derived from [first principles and validated with field observations. Results confirm](#)



maize²⁷, pasture grass¹², and lettuce²⁸ in agrivoltaic experiments. Some varieties of lettuce produce greater yields in shade than under full sunlight; other varieties produce essentially the same yield under an open sky and under PV panels²⁹. Semi-transparent PV panels open additional opportunities for colocation and greenhouse production³⁰. The reduced order model was re-evaluated to assess the potential for agrivoltaic globally, and the global energy demand³¹ (21 PWh) could be offset by solar production if <1% of agricultural land at the median power potential of 28 W/m² were suitable candidates for agrivoltaic systems and converted to dual use. [Lack of energy storage and the](#)

Trommsdorff (2016): “AFVE stačí nižší bonusy než malým střešním FVE, zatím ale potřebují vyšší bonusy než pozemní FVE.”

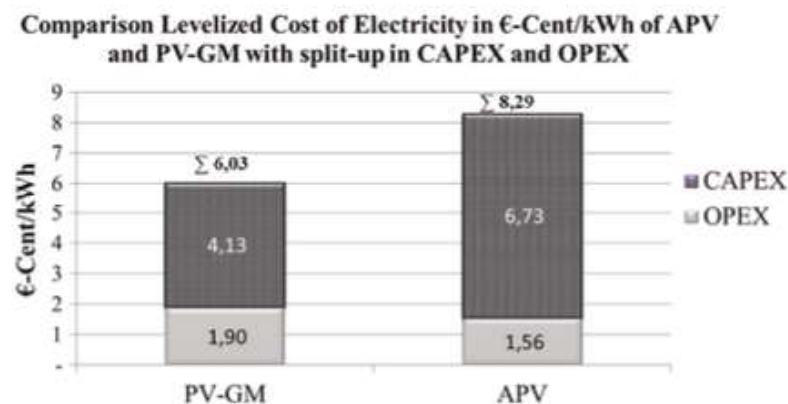


Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications

Stephan Schindele^{a,*,1}, Maximilian Trommsdorff^a, Albert Schlaak^{a,1}, Tabea Obergfell^a, Georg Bopp^a, Christian Reise^a, Christian Braun^a, Axel Weselek^b, Andrea Bauerle^c, Petra Högy^b, Adolf Goetzberger^a, Eicke Weber^{a,2}



- $LCOE_{APV} = 82,9 \text{ EUR/MWh} = 138\% LCOE_{GMPV}$



- Vyso

- Vyšš

Fig. 10. Comparison of the LCOE in euro cents per kWh of APV and PV-GM split into CAPEX and OPEX (Source: [40]).

ukcemi

Compared to PV-GM, the APV technology is relatively young, showing a steep learning curve, but offering the potential for many more technological synergies. APV's dual function of agricultural yield protection while simultaneously generating solar power increases the economic output per area and enhances farmers' resilience against the impacts of global warming by securing and diversifying their sources of income. From our international investigations we observed a variance in the political reasons to support APV implementation. In France, China, and Massachusetts (USA), financial support schemes for APV

Ale pozor
na
omezenou
relevanci
LCOE! —>

Jen omezená relevance LCOE

$$\text{LCOE} = \frac{\text{sum of costs over lifetime}}{\text{sum of electrical energy produced over lifetime}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

I_t	:	Investiční výdaje v roce t
M_t	:	provoz a údržbu výdaje v roce t
F_t	:	Výdaje na pohonné hmoty v roce t
E_t	:	elektrická energie generována v roce t
r	:	diskontní sazba
n	:	Očekávaná životnost systému nebo elektrárny

- Platí, pouze pokud je zemědělec ekonomicky oddělený od developera! LCOE přizpůsobený monistickému hospodaření, nikoli duální funkci APV.
- Kde je hektarový výnos? Kde jsou náklady na zavlažování? Kde je vyšší odolnost plodin vůči suchu a jiným katastrofám? Už vůbec: vyšší blahobyt pracovníků nebo hodnota pro krajinu.
- Je třeba internalizovat **superpozitivní externality APV!**

agrofotovoltaika ve světě

... příklady z praxe

2,8 GW_p (2019)

Japonsko, Čína, Jižní Korea,
Francie, Mass. (USA)



Pole rajčat pod solárními panely v rakouském Dornbirnu.

Synergie: víno a solár

- Společnost Sun'Agri, Piolenc (JV F)
- $S = 1,000\text{m}^2$, $\text{SAV} = 600\text{ m}^2$
- 84 kW, výška 4,2 m
- Využití AI
- Pokles spotřeby vody o 12-34%
- Výraznější chuť vína



- Společnost Sun'Agri, Tresserre (Pyrénées-Orientales)
- $S = 4,5\text{ ha}$
- 2 200 kW, výška 4 m
- Využití AI
- Pokles spotřeby vody o 10 %



- Teplé léto 2019: nechráněné rostliny se spálily, chráněné zůstaly zdravé

Plovoucí fotovoltaika

... co to je?

Princip

- Prototyp v Japonsku 2007

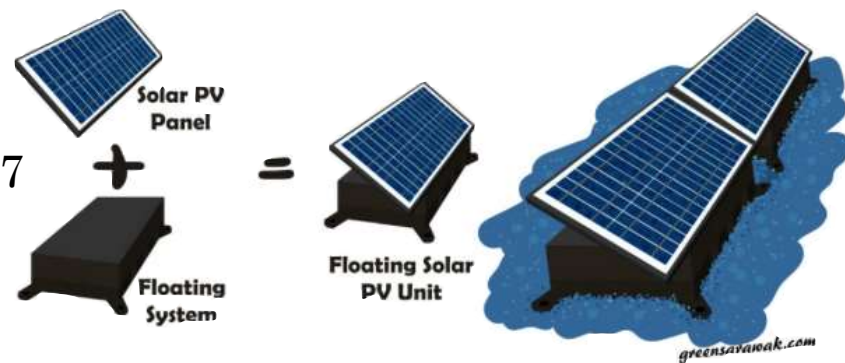
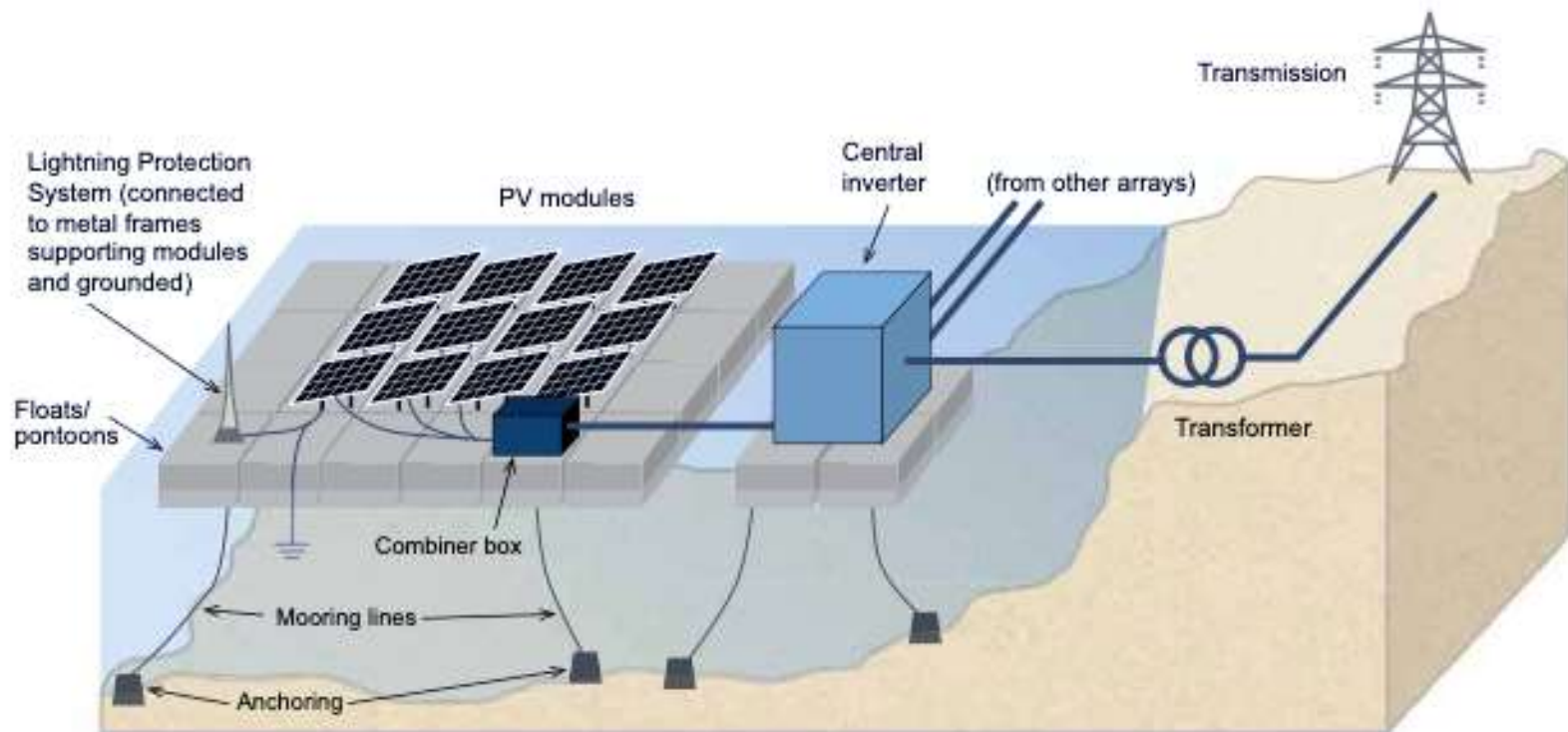
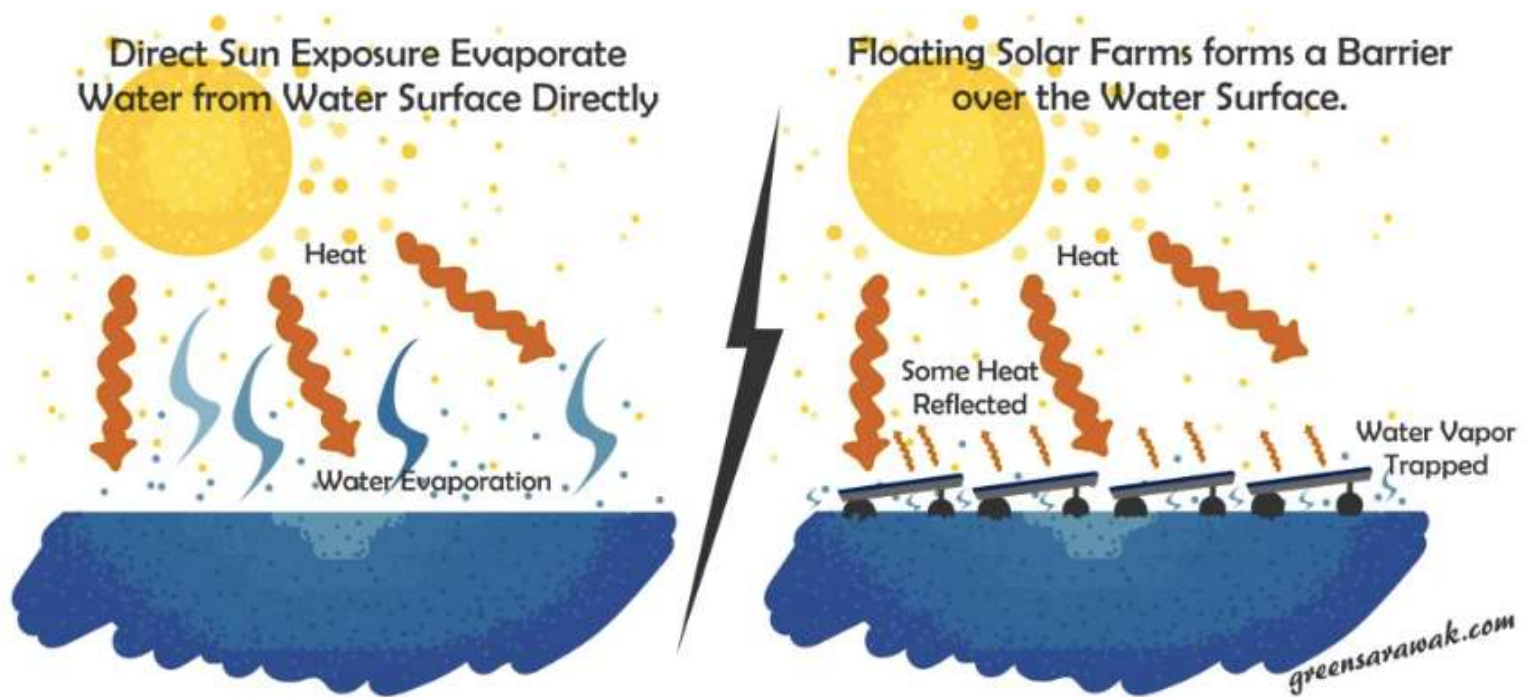


FIGURE 1 Schematic representation of a typical large-scale floating PV system with its key components



Source: Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS) at the National University of Singapore (NUS).



The Barrier Effects of Floating Solar Farms over Water Surface



Vlastnosti

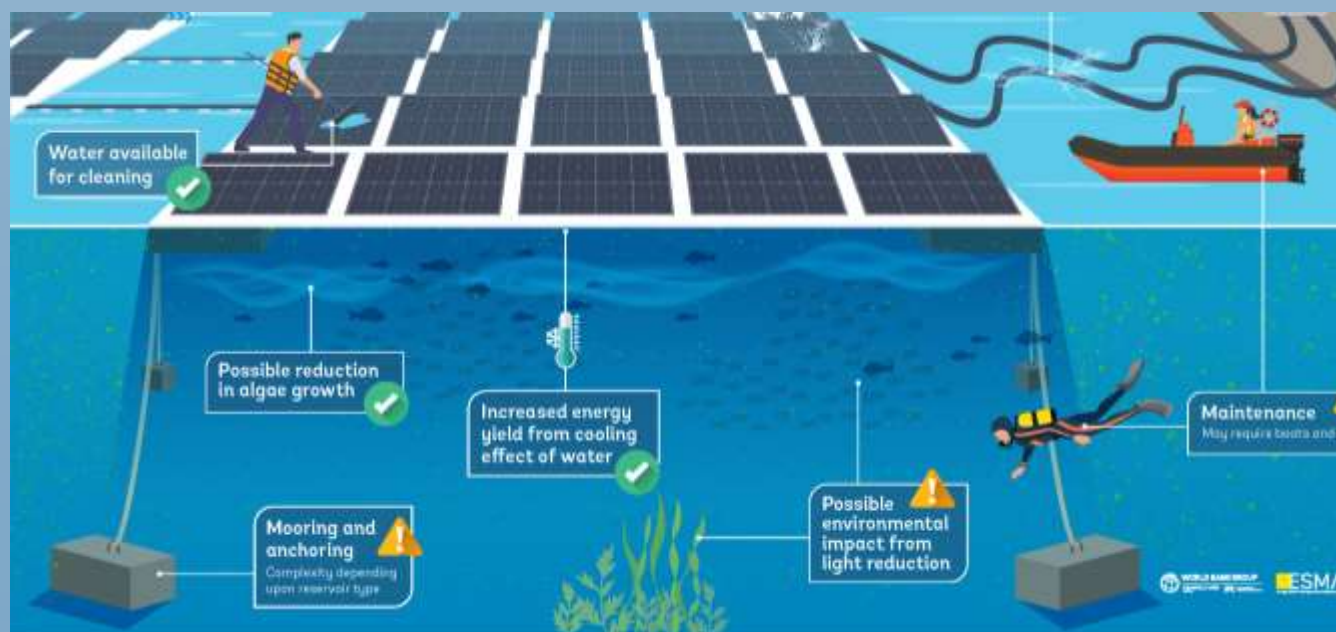
- Pontony:
 - HDPE - polyethylen s vysokou hustotou
 - Kotvení po všech stranách - PFVE zůstává na 1 místě
 - vítr, 60m/s, 90 instalací v tajfunových oblastech (ONERA)
 - vliv na kvalitu vody: žádný, vhodné pro pitnou vodu BS6920:2000
 - životnost >20 let, Hydrelío záruka 10 let
- Panely
 - až 30 cm sněhu, -20 °C (UL2703)
 - teplota panelů -3 až -10°C => + 2 až +11% vyšší účinnost
 - Instalace propustí 25 % slunečního svitu

Zdroje: Podle specifikace konstrukce Hydrelío firmy Ciel@Terre ve Francii;
dále Young-KwanChoi, Nam-HyungLee a Kern-Joong Kim, 'A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems' (2014)



Ukotvení

- ke dnu/ke břehu
- zavrtaná/betonová kotva
- variabilita výšky hladiny není problém, ale potřeba přesných hodnot (max. 30m)
- vyschnutí nádrže není problém - instalace klesne na dno bez poškození
- protikorozní opatření: galvanické pokovování, HDPE



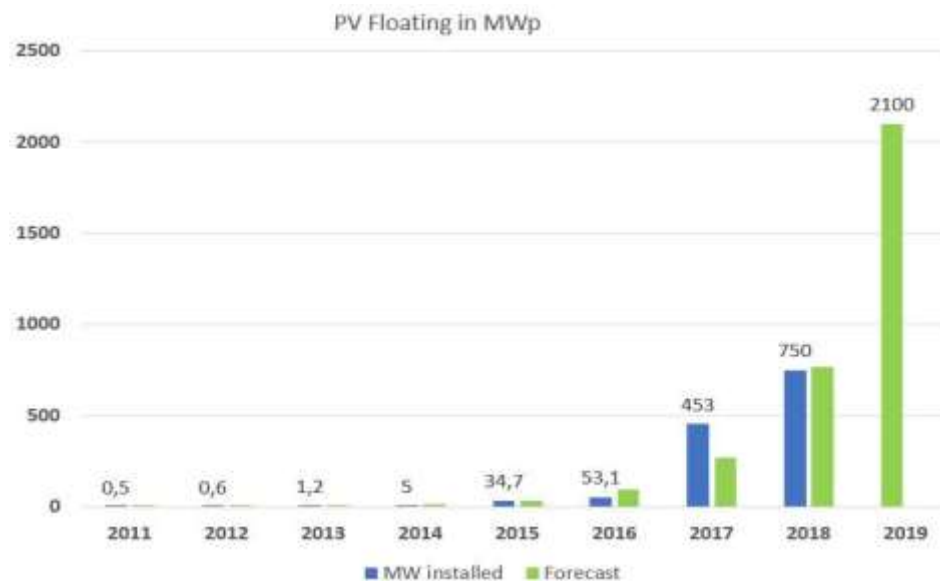
Ideální podmínky

- pravidelný tvar
- omezená proměnlivost výšky vodní hladiny
- přístup techniky
- místo na břehu pro logistiku
- blízkost PDS

cca 1 MWp/1 ha, max. plocha pokrytí = 65 %

Plovoucí FVE ve světě

- Prototyp v Japonsku 2007, první komerční instalace 2008 v Kalifornii (USA) o kapacitě 175 kW, instalace nad 1 MWp od 2013, nad 10 MWp od 2016, nad 100 MWp od 2018
- Světová banka: 10% umělých nádrží v Evropě má kombinovaný potenciál 200 GWp v plovoucí FV.



(a) 100kW



(b) 500kW

Náklady na PFVE

60 - 80 EUR/MWh

(Světová banka)

(+ pozitivní externality)

Calculated on a pretax basis, the levelized cost of electricity (LCOE) for a generic 50 MW floating PV system does not differ significantly from that of a ground-mounted system. The higher initial capital expenditures of the floating system are balanced by a higher expected energy yield—conservatively estimated at 5 percent, but potentially as high as 10–15 percent in hot climates. This result holds at a range of discount rates, as shown in table 3. Both projects have the same theoretical financial assumptions and irradiance. However, the main differentiating factors are system price (a floating system is considered 18

Nápady pro snížení nákladů

- jednotlivé instalace v řádu MW
- kotvy nebo kabeláž se přizpůsobují prostředí, pontony a panely jsou ale uniformní => lze zprostředkovat hromadný nákup
- zastíněná nádrž může poskytnout dobrou formu chlazení - např. výpočetní technice
- pontony mohou držet sítě, které ohraničí rybí farmu



Srovnání OZE

<u>Toto jsou přibližné hodnoty - nelze zhodnotit všechny faktory</u>	Pozemní FVE	Malá střešní FVE	AFVE (Heggelbach 0,194 MW)	Plovoucí FVE	Biomasa	VTE
Zábor půdy?	ANO	NE	NE	NE	ANO	ANO
Výroba z 1 kW, cca Brno	1-1,2 MWh	1-1,2 MWh	1,285 MWh	1-1,2 MWh	8 MWh	2,2 MWh
Výnos z hektaru	0,36 MW	0,16 MW	1 MW (studie)	1,33 MW (Fraunhofer ISE)	-	-
LCOE	54 EUR/MWh (aukce DE 11/2019)	180 EUR/MWh (Lazard)	83 EUR/MWh (studie)	60-80 EUR/MWh (Světová banka)	105 EUR/MWh (údaje ČEZu)	61 EUR/MWh (průměr posledních 5 aukcí v DE)

AFVE a PFVE řeší naše dilema mezi zábořem půdy
a pozemní (levnější) fotovoltaikou.

Obdobně to dokáží jen instalace na velkých střechách a opuštěných brownfieldech a tyto alternativy by se měly využívat, obojího je ale v ČR omezené množství, zatímco potenciál polí a vodních ploch je obrovský.

APV / P-FVE
v České republice

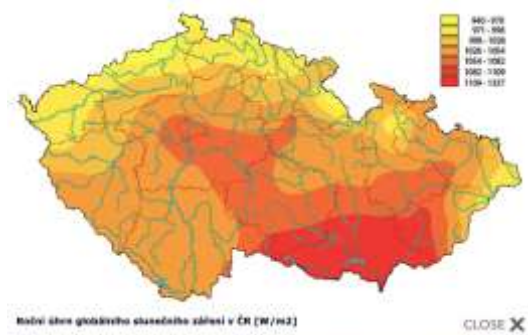
Máme vhodné podmínky

Agrofotovoltaika:

- Prošlapaná cesta (Next2Sun - v DE, AT)
- Dostatek zemědělské půdy (srov. např. Nizozemsko)
- Vysoký podíl podniků s více než 50 ha obdělávané půdy
- Lze výborně provázat s opatřeními v boji proti suchu
- Technická učení
- Výroba techniky (Zetor, Seco)

Plovoucí fotovoltaika

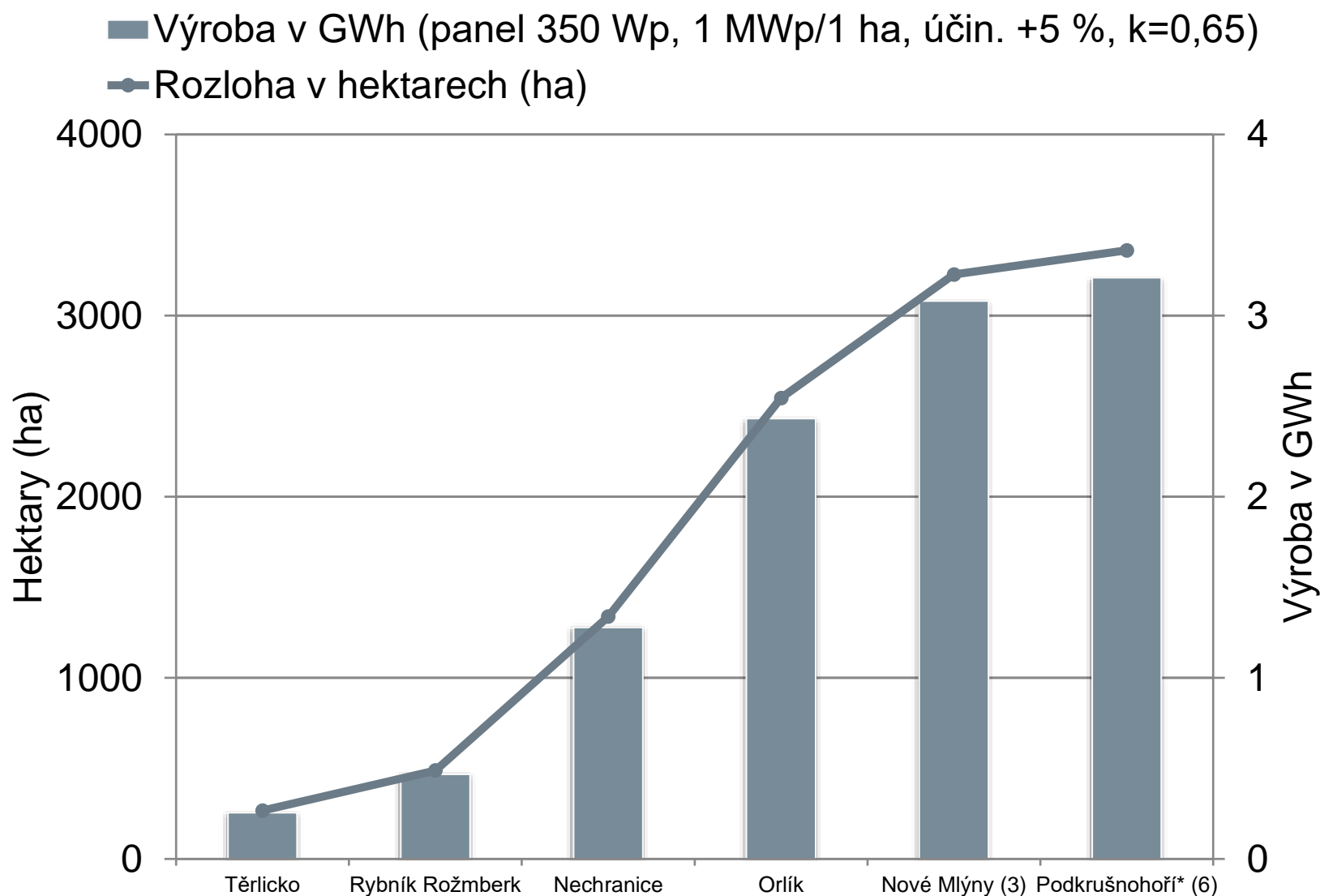
- Prošlapaná cesta
- Potenciál (nově) zatopených lomů
- Přehradní nádrže, vybrané rybníky
- Blízkost osídlení



Chybí (ochota pro) studie technického potenciálu

- Podkrušnohoří:
 - Palivový kombinát Ústí - 6/2020?
 - Deloitte: 4-9 GWp plovoucí, agro a pozemní, pilotní projekt 2024
- Existující nádrže??
- Potenciál APV??
- APV v Německu: ekon. pot. 1700 GWp (Fraunhofer ISE)
- Plovoucí FVE v bývalých lomech v Německu: ekon. pot. 2,74 GWp (Fraunhofer ISE)

Ilustrační příklady zjednodušeného technického potenciálu vybraných vodních nádrží v ČR



“Když je to tak výhodné, proč už se to nestaví?” Bariéry rozvoje v ČR

... agrofotovoltaiky

- Legislativní vakuum (hlavně zákony)
- Chybějící státní podpora
- Zatím nezohledňují ani EU zemědělské dotace
- Problém napojení vzdálených lokalit na vyšší napětí
- ...

... plovoucí fotovoltaiky

- Legislativní vakuum (zákony, manipulační řády, povodňové plány)
- Chybějící státní podpora
- Chybějící know-how
- ...



Závěr

Agrofotovoltaika:

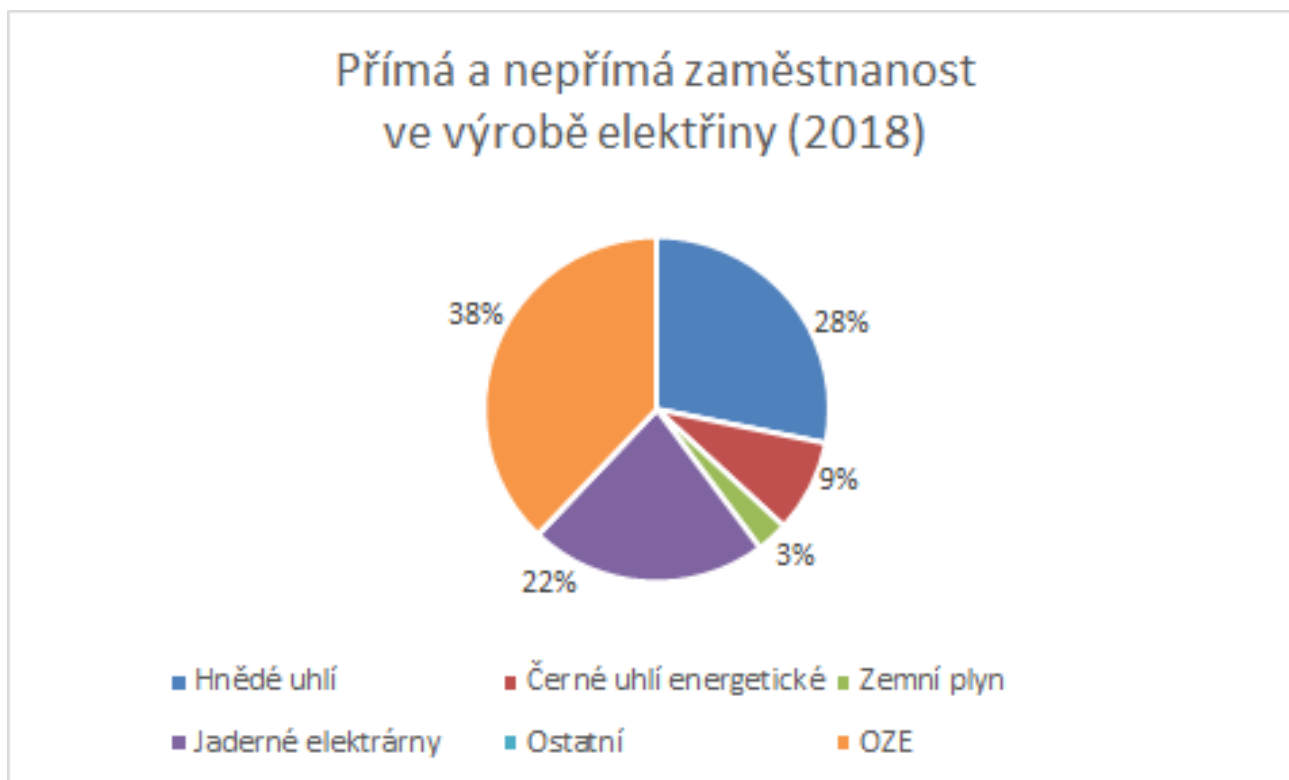
- Čelíme klesajícím výrobním kapacitám, kolabujícímu zemědělství a politickému tlaku proti pozemní FVE.
- Prakticky nezabírá půdu, vyšší účinnost panelů, vyšší výnosnost plodin, nižší odpar vody, nižší spotřeba vody, vyšší absorpce CO₂, lepší pracovní podmínky, propojení s elektrifikací a cirkulární ekonomikou
- Potenciál v řádu alespoň desítek GW
- 83 EUR/MWh
(+ superpozitivní externality)

Plovoucí fotovoltaiika

- Čelíme klesajícím výrobním kapacitám a politickému tlaku proti pozemní FVE, přitom se bude zvyšovat plocha umělých vodních nádrží.
- Nezabírá půdu, využití zatopených lomů, nižší odpar, nižší růst řas, nic nestíní panely, díky chlazení vyšší účinnost panelů (výroba), žádný vliv na životní prostředí a kvalitu vody, snadná a rychlá montáž a demontáž - od objednávky v řádu týdnů
- Potenciál v řádu alespoň desítek MW
- 60-80 EUR/MWh
(+ pozitivní externality)

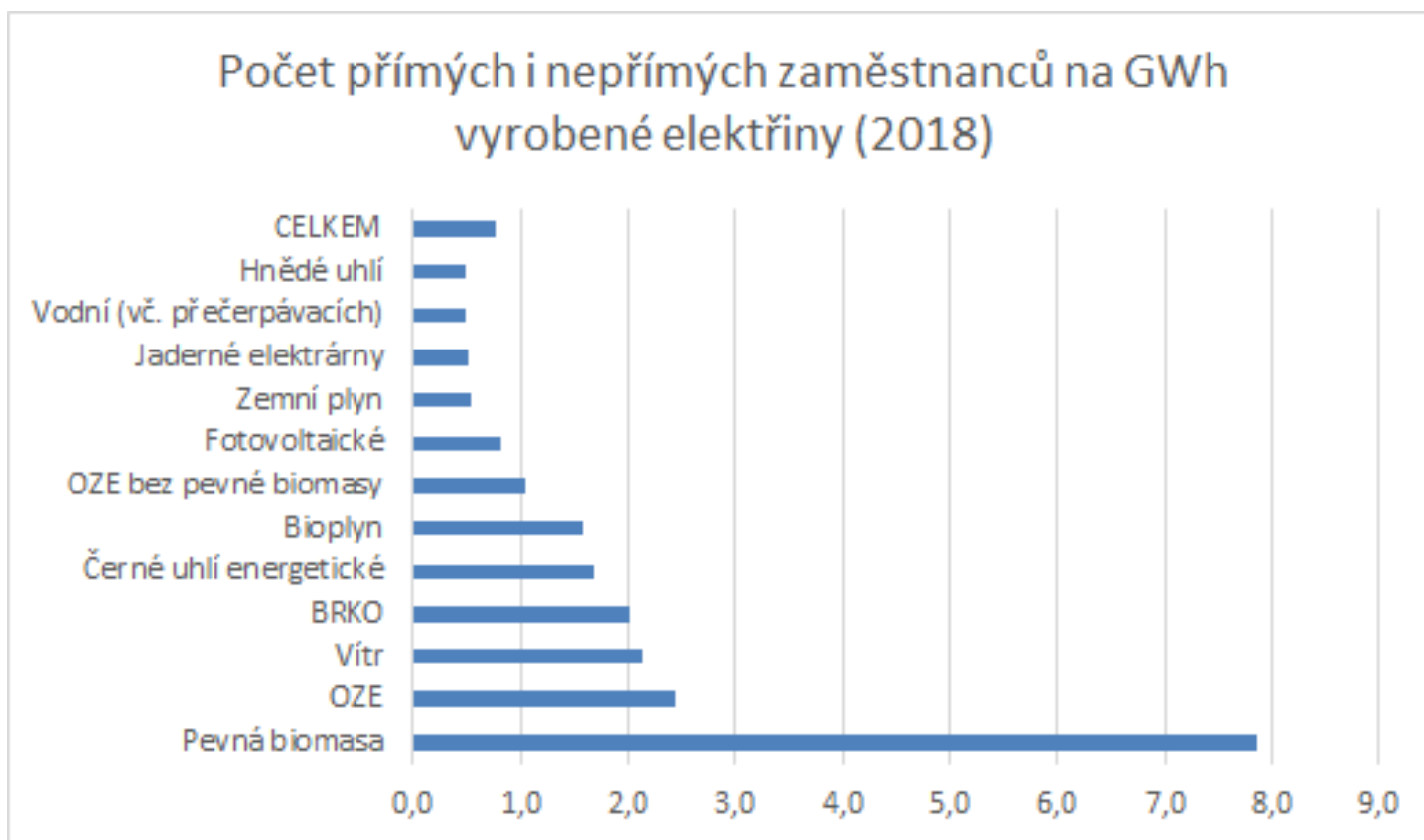
Dopady energetické transformace na zaměstnanost (1)

- Uhelný průmysl a návazná odvětví ztratí v dalších letech cca. 25 000 pracovních míst.
- Obdobný počet pracovních míst vznikne při navyšování podílu OZE v souladu s cíli NKEP.



Dopady energetické transformace na zaměstnanost (2)

- Rychlejší nástup OZE je příležitostí k rapidní tvorbě většího množství pracovních míst.
- Náklady na pracovní sílu přitom nejsou neúměrnou překážkou kompetitivnosti na trhu.



Prostor pro diskuzi.

Kontakt

Tomáš Jungwirth
Martin Madej

tomas.jungwirth@amo.cz
martin.madej@amo.cz