

# Agrofotovoltaika (agrivoltaika)

Koncept - Potenciál - Náklady

**Martin Madej** (Aliance pro energetickou soběstačnost)

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

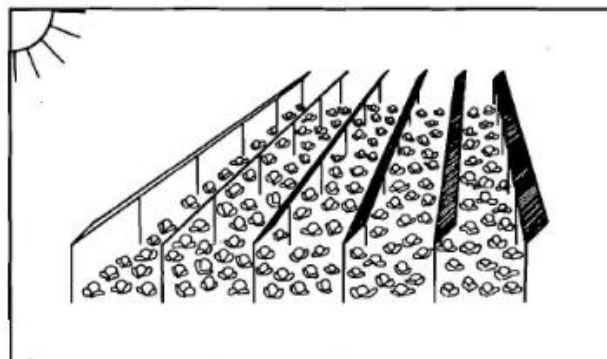
(agrivoltaika, agro-FVE, APV)



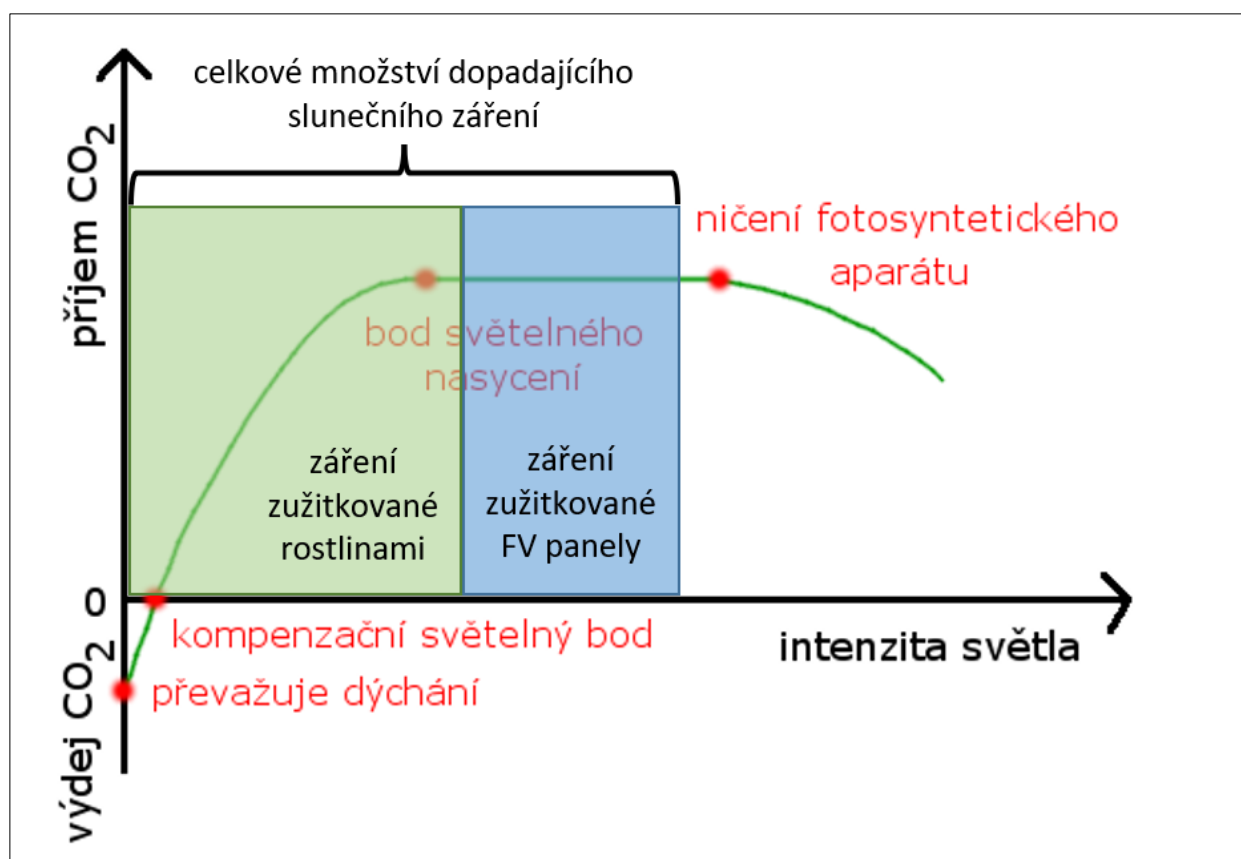
- = čistý a obnovitelný zdroj energie
- zvyšuje hospodářský výnos z pozemku až o 80 % (dvojitá úroda)
- řeší naše dilema mezi polem a velkokapacitní (levnější) fotovoltaiikou



# 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.



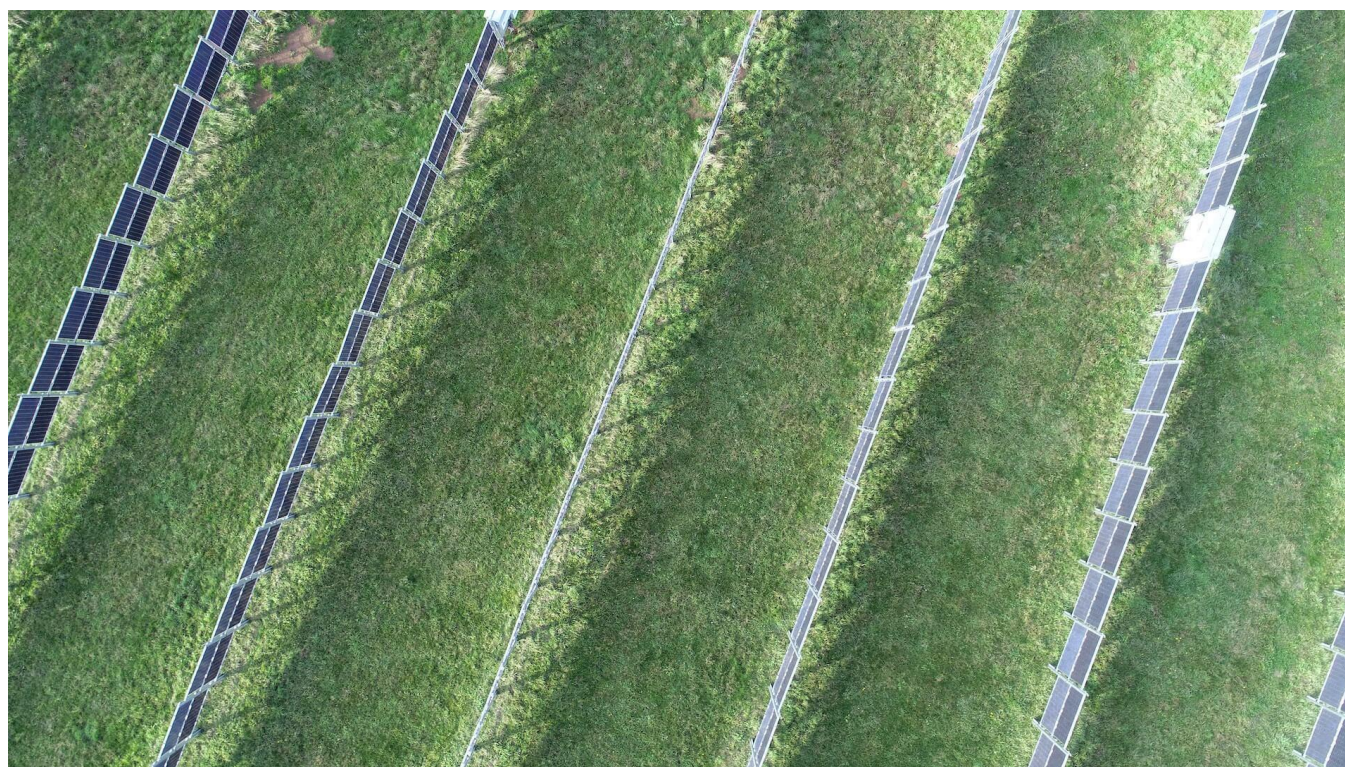
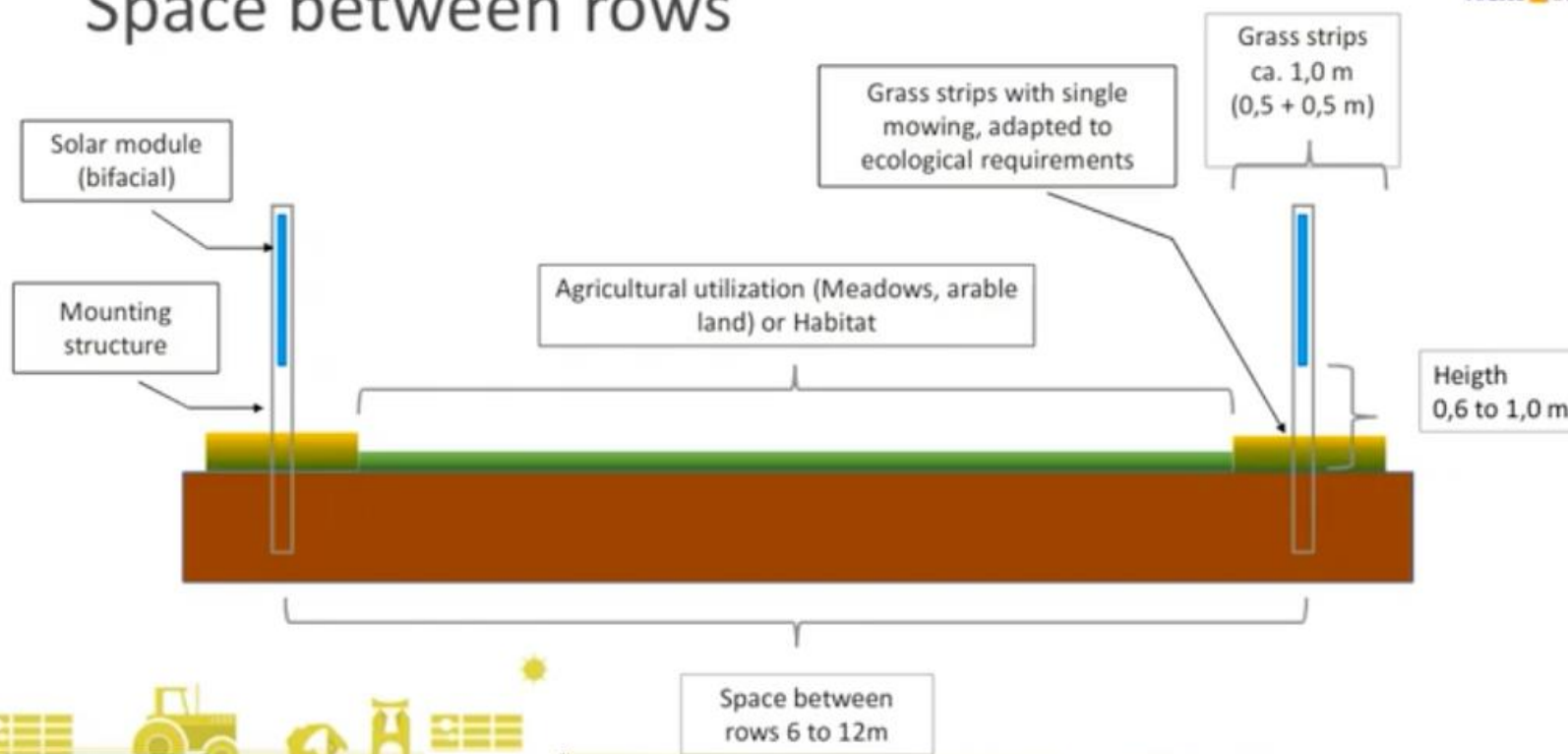
Zdroj: Odřich Sklenář

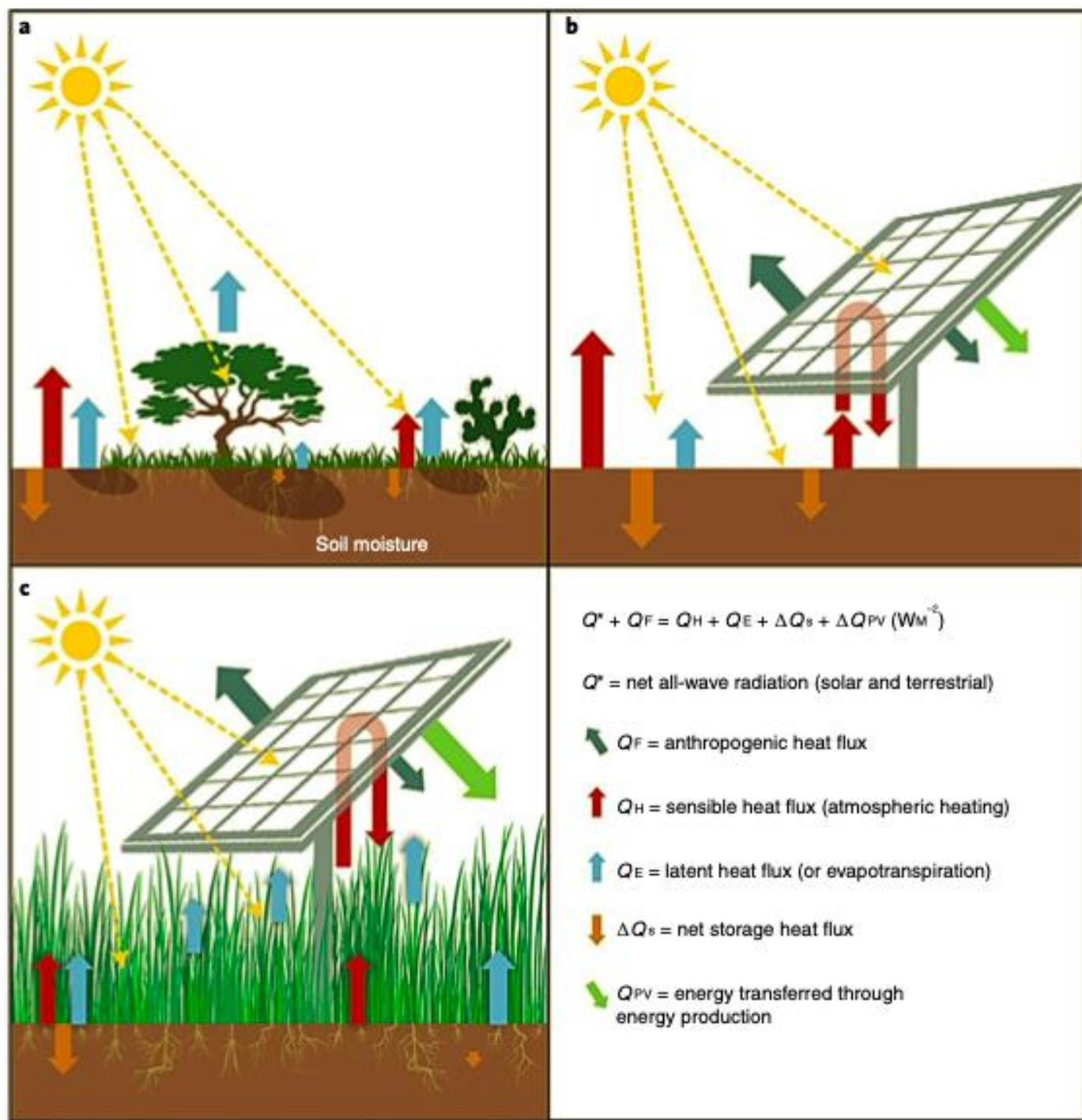






# Space between rows







Kde se slepice a krávy pásly?





## Reakce na zastínění

- **Neutrální:** ovoce (jablko, hruška), kapusta, salát
- **Pozitivní:** maliny, vinná réva
- **Negativní:** pšenice, řepka, kukuřice

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!





# APV $\cap$ Cirkulární ekonomika

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

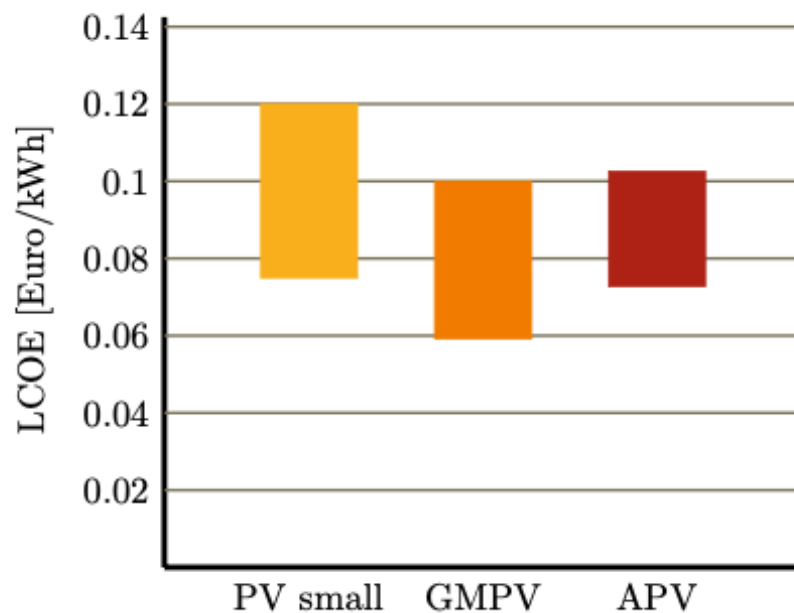


# APV $\cap$ protierozní opatření

- Ochranný pás = 22metrový pruh, který rozděluje díly půdních bloků na menší části a zároveň zadržuje vodu v krajině. Na jeho plochu je možné vysadit pouze několik předem určených plodin, napomáhajících zadržení vody v krajině.
- Instalací fotovoltaických panelů na tento pás při zachování všech jeho protierozních vlastností může zemědělský podnik zlepšit svou ekonomiku.
- Od roku 2021 povinnost zemědělců tvořit ochranná opatření i na erozně neohrožených půdních blocích.
- FVE potenciál ochranný pásem v ČR: 30 000 ha



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





# Stav legislativy?

- Podpora z ModFondu, pravděpodobně i aukční podpora
- Zákaz „stavby“ agrivoltaiky na zemědělské půdě (potřeba odnětí ze ZPF)
- Aktuálně: pozměňovací návrh
- Technické parametry (Klub Agrivoltaiky)

Děkuji za pozornost.

Kontakt

Martin Madej

[martin.madej@alies.cz](mailto:martin.madej@alies.cz)



# Rozumná energetická transformace v podmínkách České republiky z perspektivy roku 2030

Martin Madej

KLIMATICKÝ POLICY PAPER č. 3





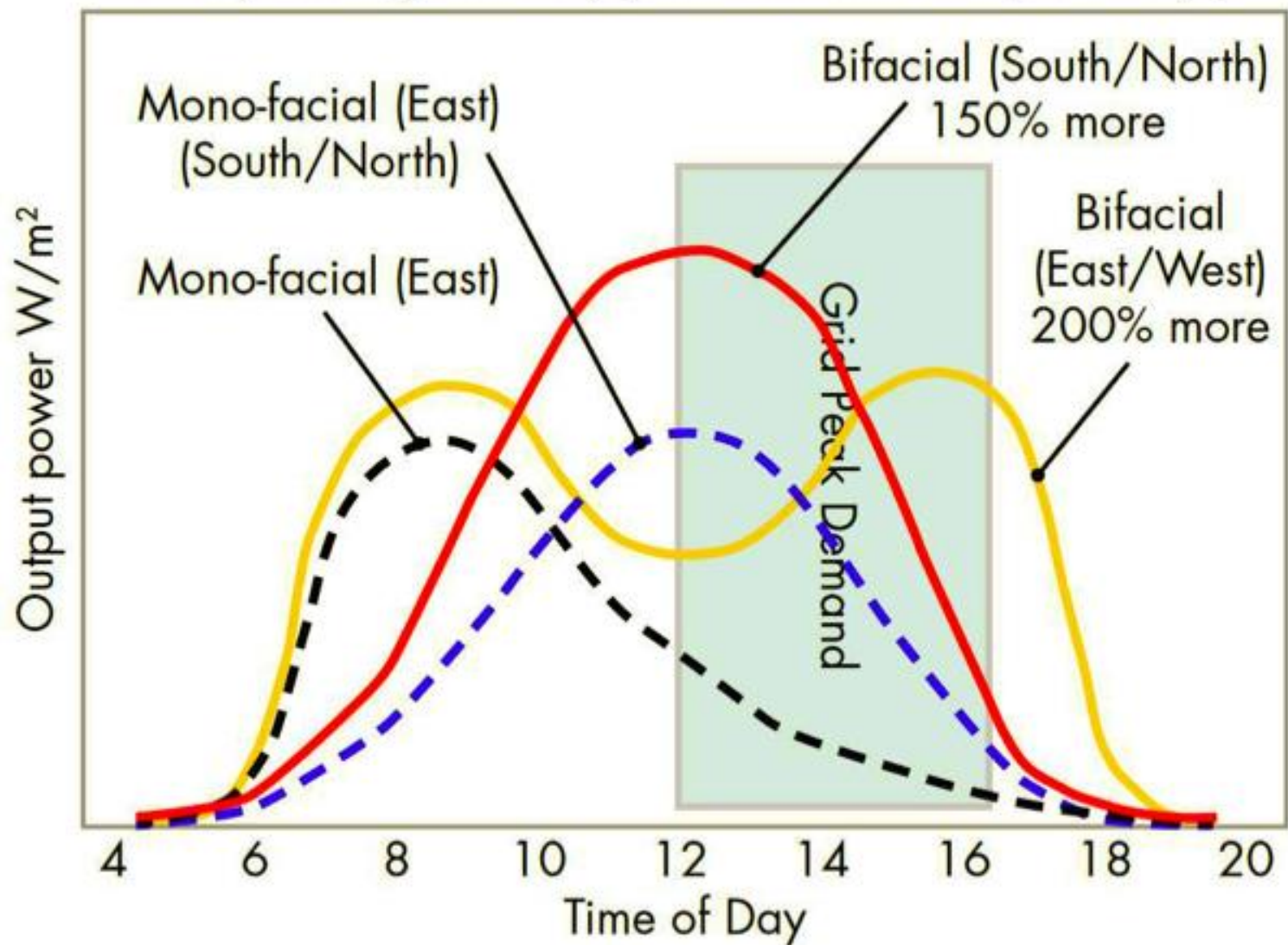
# APV: 4 případové studie

|                                                          | Hérault (FR) | Heggelbach (DE)                        | Donaueschingen-Aasen (DE) | Eppelborn (DE)         |
|----------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Uvedeno do provozu                                       | 2019         | 2016                                   | 2020                      | 2018                   |
| Plocha (ha)                                              | 0,06         | 0,34                                   | 14                        | 7                      |
| Plodiny                                                  | víno         | ozimní pšenice, jetel, brambory, celer | tráva, travní pastviny    | tráva, travní pastviny |
| Instalovaný výkon (kWp)                                  | 84           | 194                                    | 4100                      | 2000                   |
| Počet panelů (výkon v kWp)                               | 280          | 720 (270 Wp)                           | 5700 (380 Wp)             | -                      |
| Technologie panelu                                       | -            | bifaciální                             | bifaciální, Z/V           | bifaciální             |
| Výroba (MWh p.a.)                                        | -            | 249                                    | 4600                      | 2150                   |
| LCOE (EUR/MWh)                                           | -            | 82,90                                  | 27,80                     | 33,49                  |
| Výnos - elektřina<br>[L <sup>1</sup> ]<br>[SEP] (MWh/ha) | -            | 732,35                                 | 328,57                    | 307,14                 |

# Další fakta (příklad Donaueschingen)

- vertikální FVE = nízká reflexe světla, odráží se zpět do země
- 2 z 14 ha potřeba konvertovat z orné půdy na traviny
- řady mezi panely přizpůsobeny technice na místě
- technika pracuje pomaleji než na volné ploše (cca 30 %), ale prostor pro zlepšení (GPS tracking/IoT)
- méně větru = méně eroze
- menší maxima = menší střídač
- čištění panelů není třeba

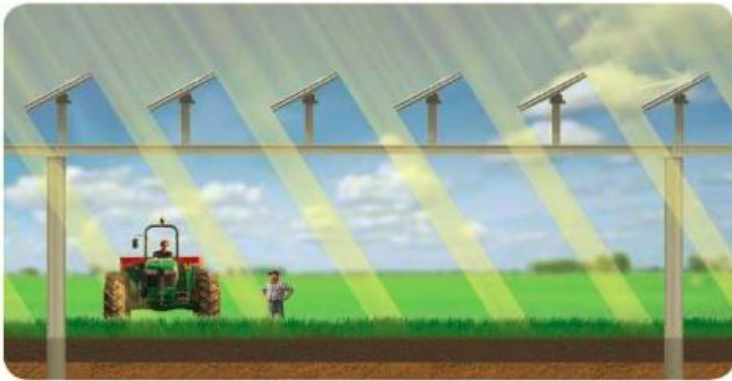
Yearly average of daily power distribution (365 days)



Average daily power distribution per year (365 days)

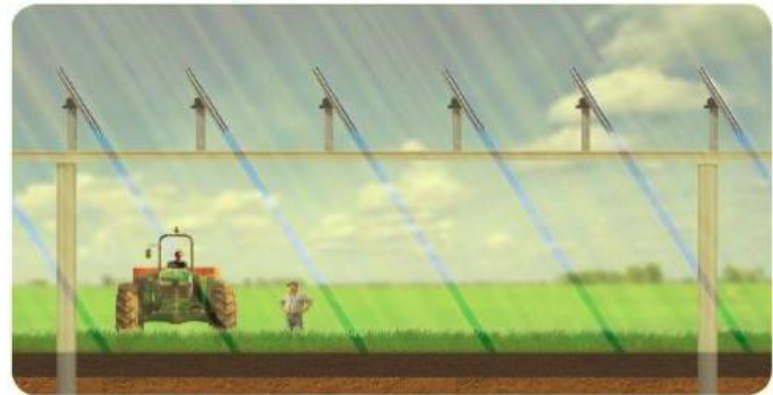


### NORMAL TRACKING

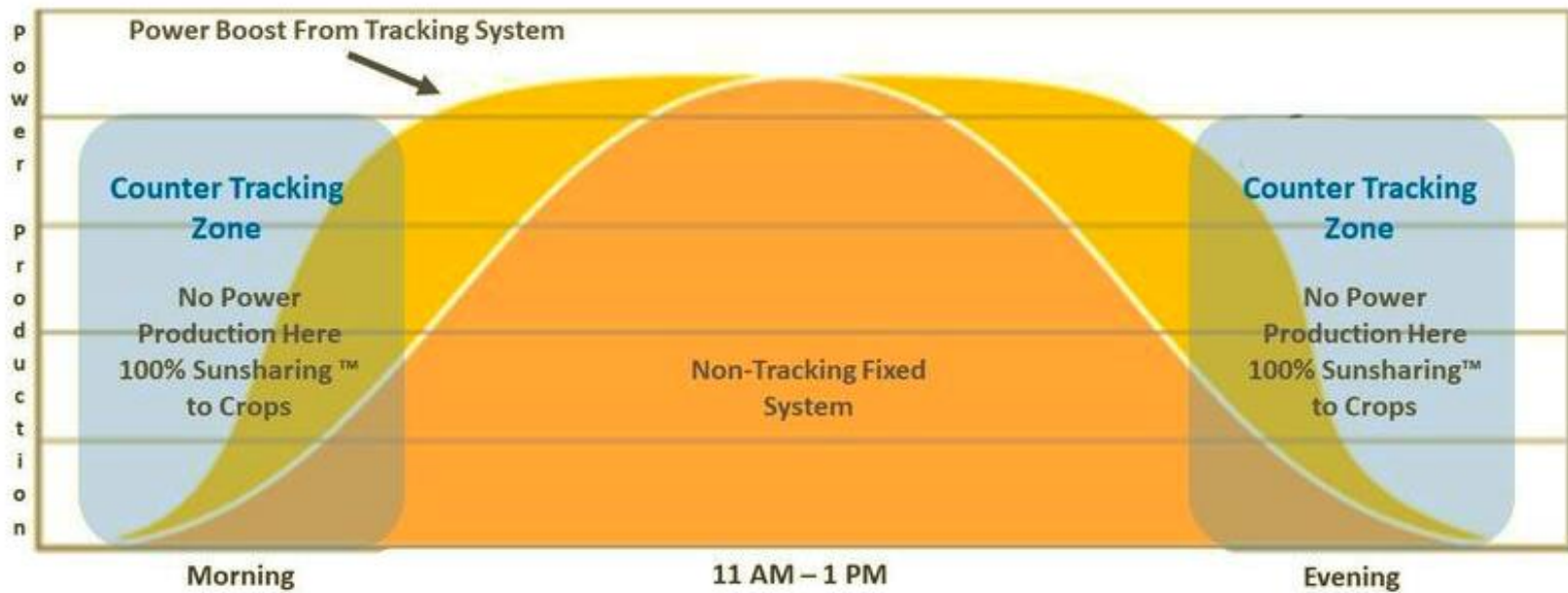


Solar panels are perpendicular to the sunlight and provide partial shading

### COUNTER TRACKING



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

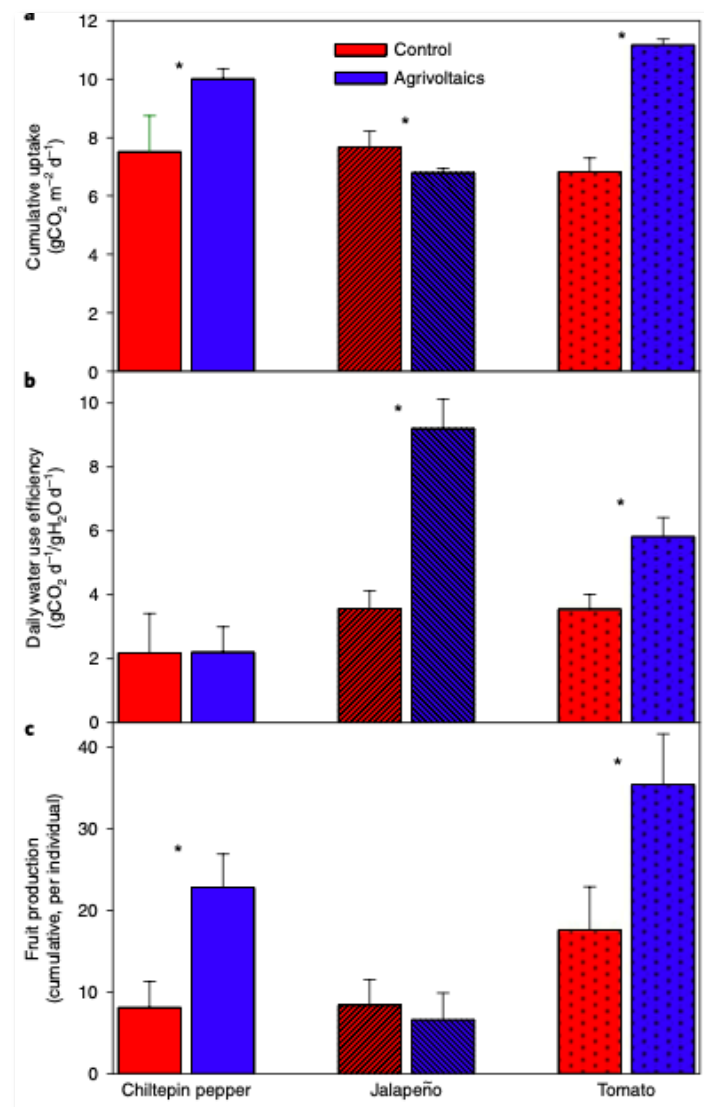
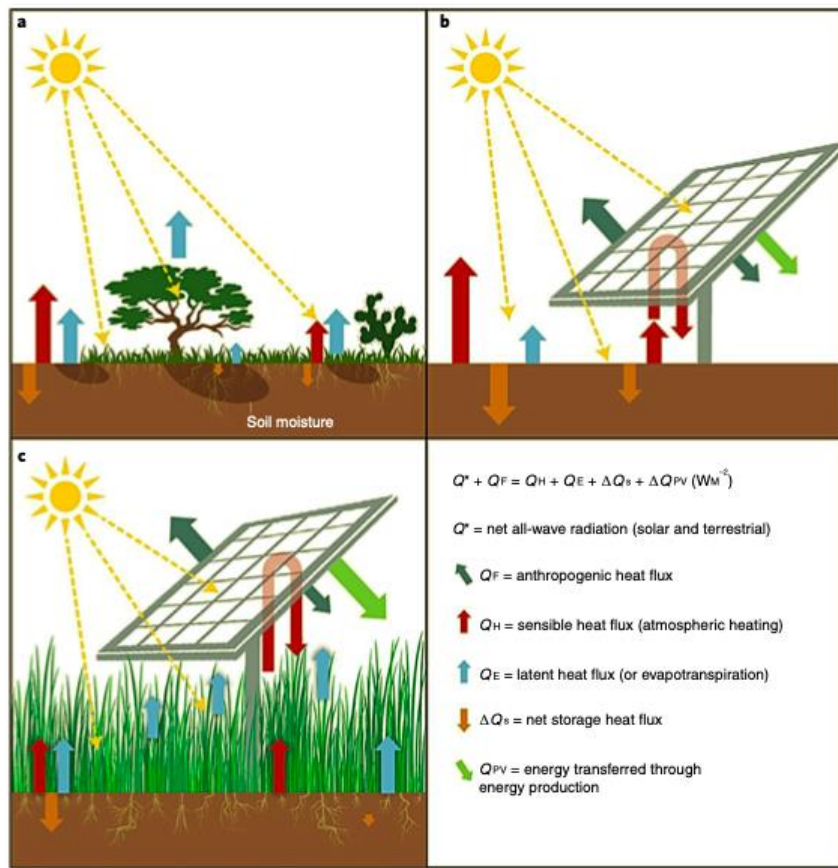


Zdroj: SolAgra®

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

Greg A. Barron-Gafford<sup>1,2\*</sup>, Mitchell A. Pavao-Zuckerman<sup>3</sup>, Rebecca L. Minor<sup>1,2</sup>, Leland F. Sutter<sup>1,2</sup>, Isaiah Barnett-Moreno<sup>1,2</sup>, Daniel T. Blackett<sup>1,2</sup>, Moses Thompson<sup>1,4</sup>, Kirk Dimond<sup>5</sup>, Andrea K. Gerlak<sup>1</sup>, Gary P. Nabhan<sup>6</sup> and Jordan E. Macknick<sup>7</sup>

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 micro-climatic conditions, PV panel temperature, soil moisture and irrigation water use, plant eco-physiological function and plant



- 2x vyšší výnos
- O 65 % vyšší absorpce CO<sub>2</sub>
- O 65 % nižší spotřeba vody

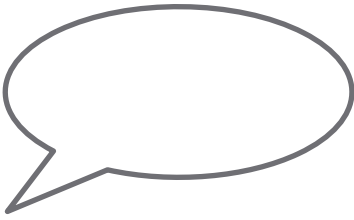
Agrivoltaika:  
Ověření konceptu  
(*proof of concept*)

# Ideální podmínky

- plodina vhodná pro agrivoltaiku
- rovinatý pozemek pravidelného tvaru, ale konstrukce se dokáže vypořádat se svažitostí terénu
- mírné povětrí, mírné teploty, nižší vlhkost vzduchu







*development of a PV site, but also increases the collective ecosystem services associated with an area<sup>1</sup>. 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 colocation 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



maize<sup>27</sup>, pasture grass<sup>12</sup>, and lettuce<sup>28</sup> 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 panels<sup>29</sup>. Semi-transparent PV panels open additional opportunities for colocation and greenhouse production<sup>30</sup>. The reduced order model was re-evaluated to assess the potential for agrivoltaic globally, and the global energy demand<sup>31</sup> (21 PWh) could be offset by solar production if <1% of agricultural land at the median power potential of 28 W/m<sup>2</sup> were suitable candidates for agrivoltaic systems and converted to dual use. Lack of energy storage and the

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

Stephan Schindele<sup>a,\*,1</sup>, Maximilian Trommsdorff<sup>a</sup>, Albert Schlaak<sup>a,1</sup>, Tabea Obergfell<sup>a</sup>, Georg Bopp<sup>a</sup>, Christian Reise<sup>a</sup>, Christian Braun<sup>a</sup>, Axel Weselek<sup>b</sup>, Andrea Bauerle<sup>c</sup>, Petra Högy<sup>b</sup>, Adolf Goetzberger<sup>a</sup>, Eicke Weber<sup>a,2</sup>



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

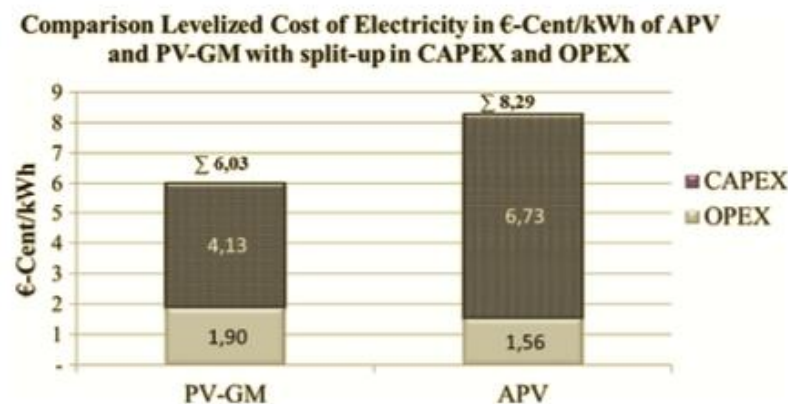


Fig. 10. Comparison of the LCOE in euro cents per kWh of APV and PV-GM split into CAPEX and OPEX (Source: [40]).

- Vyso

- Vyšš

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 GWp (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

