

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**MASARYKŮV ÚSTAV VYŠŠÍCH STUDIÍ**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití agrovoltaiky v České republice**

**The Use of Agrivoltaics in Czech Republic**

**2024**

**Bc. Kateřina Šebestová**

**Studijní program:** Projektové řízení inovací

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šebestová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **490646**  
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**  
Zadávající katedra/ústav: **Institut ekonomických studií**  
Studijní program: **Projektové řízení inovací**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Využití agrivoltaiky v České republice**

Název diplomové práce anglicky:

**The Use of Agrivoltaics in Czech Republic**

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je analýza a rozbor komplexního pohledu na agrivoltaické systémy kombinující zemědělskou výrobu a výrobu elektřiny. Součástí diplomové práce je realizace a implementace agrivoltaiky na vybraném projektu. Metodikou řešení diplomové práce je reálná aplikace výchozích poznatků na vybraném projektu včetně výkonnosti a ekonomického vyhodnocení projektu.

Seznam doporučené literatury:

FEUERBACHER, Arndt; LAUB, Moritz; HÖGY, Petra; LIPPERT, Christian; PATACZEK, Lisa et al. An analytical framework to estimate the economics and adoption potential of dual land-use systems: The case of agrivoltaics. Online. Agricultural Systems. 2021, roč. 192. ISSN 0308521X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103193>. [cit. 2024-01-27].  
JAIN, Pulkit; RAINA, Gautam; SINHA, Sunanda; MALIK, Prashant a MATHUR, Siddharth. Agrivoltaics: Step towards sustainable energy-food combination. Online. Bioresource Technology Reports. 2021, roč. 15. ISSN 2589014X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>. [cit. 2024-01-27].  
DINESH, Harshavardhan a PEARCE, Joshua M. The potential of agrivoltaic systems. Online. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016, roč. 54, s. 299-308. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>. [cit. 2024-01-27].  
VALLE, B.; SIMONNEAU, T.; SOURD, F.; PECHIER, P.; HAMARD, P. et al. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. Online. Applied Energy. 2017, roč. 206, s. 1495-1507. ISSN 03062619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>. [cit. 2024-01-27].  
MAMUN, Mohammad Abdullah Al; DARGUSCH, Paul; WADLEY, David; ZULKARNAIN, Noor Azwa a AZIZ, Ammar Abdul. A review of research on agrivoltaic systems. Online. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022, roč. 161. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>. [cit. 2024-01-27].  
GOETZBERGER, A. a ZASTROW, A. On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation. Online. International Journal of Solar Energy. 2007, roč. 1, č. 1, s. 55-69. ISSN 0142-5919. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/01425918208909875>. [cit. 2024-01-27].

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **08.12.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.04.2024**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Jiří Zmatlík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

Mgr. František Hřebík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

ŠEBESTOVÁ, KATEŘINA. *Využití agrovoltaiky v České republice*. Praha: ČVUT 2024.  
Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV  
VYŠŠÍCH STUDIÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citovala a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 21. 04. 2024

Podpis:

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Zmatlíkovi, Ph.D. za odborné vedení, udělené konzultace a rady při jejím zpracování. Mé poděkování patří také investorovi projektu, který mi poskytl možnost zpracovat praktickou část této práce a zpřístupnil mi cestu k veškerým potřebným informacím a datům. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se věnuje potenciálu agrovoltaiky v České republice, inovativní technologii kombinující zemědělství s výrobou solární energie na stejném místě. Práce začíná úvodem do historie a principů agrovoltaiky, včetně dvojího využití půdy a rozdělení systémů, přičemž zkoumá globální příklady a podporující politiky. Zvláštní důraz je kladen na situaci agrovoltaiky v České republice, analýzu současného stavu, legislativu, potenciál, překážky a možnosti integrace do zemědělství. Dále práce poskytuje přehled o fotovoltaických modulech, jejich technologii, efektivitě a udržitelnosti. Zaměřuje se na budoucnost agrovoltaických systémů, technologický pokrok a rozšíření aplikací. Praktická část této práce zkoumá ekonomickou analýzu vzorového projektu. Závěrem zdůrazňuje význam agrovoltaiky pro udržitelnou energetiku a zemědělství v České republice, vyzdvihuje také technologickou inovaci a potřebu legislativní podpory pro její rozvoj včetně závěrečného shrnutí.

## **Klíčová slova**

agrovoltaika, agrovoltaické systémy, fotovoltaické moduly, zemědělství, obnovitelná energie, Česká republika, udržitelnost

## **Abstract**

This diploma thesis explores the potential of agrivoltaics in the Czech Republic, an innovative technology that combines agriculture and solar energy production at the same location. The thesis begins with an introduction to the history and principles of agrivoltaics, including dual land use and split systems, while exploring global examples and supporting policies. Special emphasis is given to the state of agrivoltaics in the Czech Republic, encompassing an analysis of the current status, relevant legislation, potential, and challenges or opportunities for integration into agriculture. Furthermore, the work provides an overview of photovoltaic panels, their technology, efficiency, and sustainability. It focuses on the future of agrivoltaic systems, technological progress, and the expansion of applications. The practical part of this thesis conducts an economic analysis of a sample project. In conclusion, it emphasizes the importance of agrivoltaics for sustainable energy and agriculture in the Czech Republic and also highlights technological innovation and the need for legislative support for its development, including a final summary.

## **Keywords**

agrivoltaics, agrivoltaics systems, photovoltaic modules, agriculture, renewable energy, Czech Republic, sustainability





# Obsah

Úvod .....	9
<b>1 Agrovoltaika.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Historie agrovoltaiky</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Dvojí využití půdy</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Globální změna klimatu</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Rozdělení agrovoltaických systémů</b>	<b>18</b>
<b>1.5 Agrovoltaika v globálním kontextu</b>	<b>25</b>
1.5.1 Příklady pilotních projektů agrovoltaiky	25
1.5.2 Mezinárodní politika a trendy podporující agrovoltaiku	27
<b>1.6 Agrovoltaika v globálním kontextu</b>	<b>28</b>
1.6.1 Příčiny současného stavu	30
1.6.2 Legislativní rámec a podmínky rozvoje	30
1.6.3 Integrace agrovoltaiky do českého zemědělství	32
<b>2 Fotovoltaické moduly .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1 Historie fotovoltaiky</b>	<b>33</b>
<b>2.2 Základy fotovoltaické technologie</b>	<b>34</b>
2.2.1 Principy fungování	34
2.2.2 Používané materiály	35
<b>2.3 Typy fotovoltaických modulů</b>	<b>36</b>
2.3.1 Monokrystalické solární moduly	36
2.3.2 Polykrystalické solární moduly	40
2.3.3 Tenkovrstvé solární moduly	41
2.3.4 Inovační a budoucí technologie	41
<b>2.4 Účinnost</b>	<b>43</b>
2.4.1 Teplota	43
2.4.2 Ozáření	44
2.4.3 Orientace	44
2.4.4 Stínění	45
2.4.5 Akumulace nečistot	45
2.4.6 Stárnutí a degradace	46
2.4.7 Úhel dopadu světla	46
<b>2.5 Životnost a udržitelnost</b>	<b>46</b>
2.5.1 Faktory ovlivňující degradaci modulů	47
2.5.2 Recyklace a management odpadu z fotovoltaických modulů	48

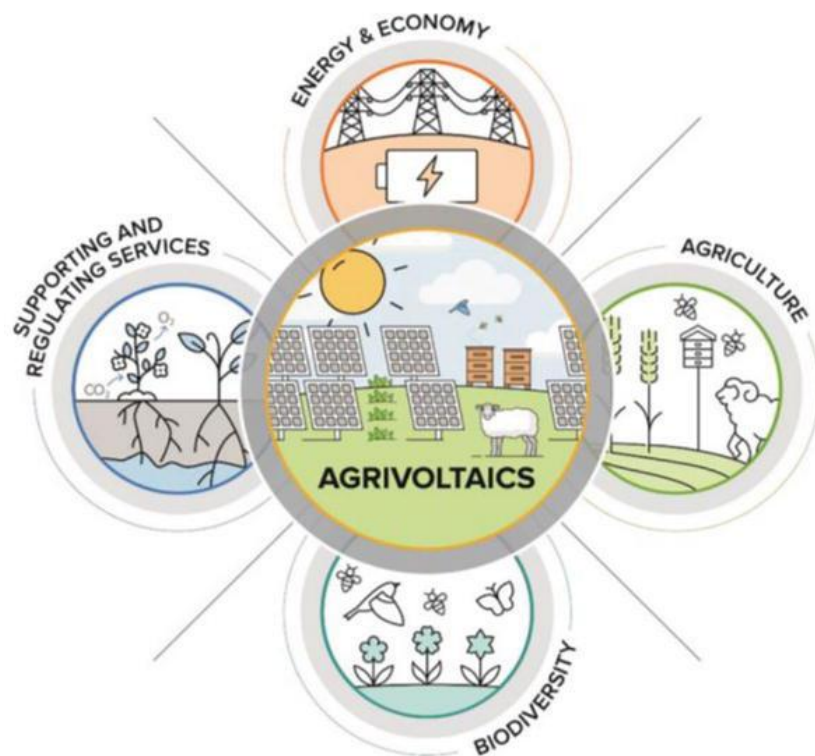
2.5.3	Udržitelnost materiálů a výrobních procesů	48
2.5.4	Instalace a integrace do agrovoltaických systémů	49
<b>2.6</b>	<b>Výzvy a budoucí směry</b>	<b>49</b>
2.6.1	Technologické výzvy a optimalizace nákladů	50
2.6.2	Výzkum s potenciálem pro agrovoltaické aplikace	50
<b>3</b>	<b>Budoucnost agrovoltaických systémů</b>	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Technologický pokrok</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>Rozšiřování aplikací</b>	<b>51</b>
<b>3.3</b>	<b>Politická a ekonomická podpora</b>	<b>52</b>
<b>3.4</b>	<b>Výzvy a překážky</b>	<b>52</b>
<b>3.5</b>	<b>Decentralizace</b>	<b>52</b>
<b>3.6</b>	<b>Flexibilita</b>	<b>52</b>
<b>3.7</b>	<b>Akumulace energie</b>	<b>53</b>
3.7.1	Krátkodobá akumulace energie	53
3.7.2	Dlouhodobá akumulace energie	59
<b>4</b>	<b>Vzorový projekt</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Umístění projektu</b>	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Popis projektu</b>	<b>65</b>
<b>4.3</b>	<b>Technologie a provedení</b>	<b>66</b>
<b>4.4</b>	<b>Ekonomická analýza</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>Potenciál agrovoltaiky v ČR</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Plochy pro instalaci</b>	<b>82</b>
<b>5.2</b>	<b>Rozložení výroby v průběhu roku</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Příležitosti a výzvy agrovoltaiky v ČR</b>	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Shrnutí a doporučení</b>	<b>87</b>
	<b>Závěr</b>	<b>90</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>91</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>97</b>
	<b>Seznam grafů</b>	<b>98</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>99</b>
	<b>Seznam zkratk a použitých jednotek</b>	<b>100</b>

# Úvod

V posledních desetiletích se svět potýká s rostoucími výzvami v oblasti energetiky a zemědělství, které jsou zásadní pro udržení života a prosperity naší civilizace. Jednou z klíčových otázek je, jak efektivně a udržitelně splnit rostoucí energetické potřeby lidstva, aniž by došlo k ohrožení potravinové bezpečnosti a environmentální stability. V této souvislosti získává na významu koncept agrolvoltaiky, inovativní technologie, která slibuje řešení pro současnou energetickou a zemědělskou krizi tím, že kombinuje výrobu elektrické energie pomocí fotovoltaiky s tradičním zemědělstvím na stejném pozemku.

Česká republika, s její rozmanitou krajinou a podnebím, poskytuje jedinečný kontext pro využití agrolvoltaiky. Přestože ČR má dlouhou historii zemědělské produkce a rostoucí zájem o obnovitelné zdroje energie, integrace agrolvoltaických systémů do jejího zemědělského a energetického sektoru je stále ve svých počátcích. Tato diplomová práce se proto zaměřuje na analýzu potenciálu agrolvoltaiky v České republice, zkoumá příležitosti, které tato technologie nabízí pro zvýšení udržitelnosti a efektivity v obou sektorech, a identifikuje výzvy, které je třeba překonat pro její úspěšnou implementaci.

OBRÁZEK 1: UMÍSTĚNÍ AGROVOLTAIKY V MATRIXU ENERGIE - EKONOMIKA - ZEMĚDĚLSTVÍ - BIODIVERZITA - EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY<sup>1</sup>



<sup>1</sup> WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. AgriVoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-03-24].

V úvodu se věnuji kontextu, který stojí za vzestupem zájmu o agrovoltaiku. Globální změna klimatu, potřeba diverzifikace energetických zdrojů a hledání cest k udržitelnějšímu zemědělství jsou klíčové faktory, které přispěly k rostoucímu vědomí o potřebě integrace solární energie do zemědělské praxe. V následujících kapitolách se zaměříme na analýzu současného stavu agrovoltaiky v České republice, identifikaci příležitostí a výzev spojených s jejím rozvojem a navrhneme doporučení pro zainteresované strany, včetně vlády, zemědělců a energetických společností.

Prostřednictvím kombinace literární rešerše, analýzy dostupných dat, rozhovorů s odborníky a studia případových příkladů se práce snaží poskytnout komplexní přehled o možnostech využití agrovoltaiky v České republice. Cílem je nejen posoudit ekonomickou a energetickou efektivitu této technologie, ale také pochopit její potenciální dopady na zemědělskou produkci a biodiverzitu.

Vzhledem k rostoucím globálním výzvám v oblasti energetiky a zemědělství představuje agrovoltaika pro Českou republiku nejen příležitost k získání udržitelné energie, ale také šanci na zvýšení efektivity a udržitelnosti zemědělské produkce. Tato práce proto přináší důležitý příspěvek k diskusi o budoucnosti energetiky a zemědělství v České republice a nabízí náhled na možné cesty k jejich integraci ve prospěch společnosti i životního prostředí.

# **TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 Agrovoltaika

Agrovoltaika (označovaná také jako AV) je spojení zemědělství a výroby elektřiny z fotovoltaických modulů. Tento koncept umožňuje současnou produkci potravin a energie na stejném kusu půdy, čímž se zvyšuje její celková produktivita. Fotovoltaické moduly poskytují ochranu plodin snížením teplotních výkyvů a poskytují stín, což může být pro některé plodiny výhodné, zejména v oblastech s extrémními podmínkami. Stejně tak mohou zlepšovat welfare zvířat, především ochranou před nepříznivým počasím a poskytováním stínu.

Tento model udržitelného zemědělství, úzce související s inteligentním zemědělstvím, spočívá v instalaci fotovoltaických solárních modulů na půdu určenou pro plodiny nebo dobytek. To dává půdě dvojí účel: zemědělská nebo živočišná výroba a výroba solární energie – obnovitelný, nekonečný a ekologický zdroj elektřiny.<sup>2</sup>

V agrovoltaických systémech jsou moduly instalovány na různých konstrukcích na orné půdě a trávníku nebo na místech se specializovanými a zahradnickými plodinami převážně tak, aby rostlinám a půdě byla nabídnuta co největší ochrana proti extrémním povětrnostním podmínkám, jako jsou bouře, silný déšť, sucho, teplo, silné UV záření a pozdní mrazy, stejně jako chrání půdu před spálením sluncem, tak i před suchem a erozí. Elektřina se navíc vytváří paralelně pro vlastní využití či pro zásobování sítí.<sup>3</sup> Systém může být aktivní, tedy schopný orientace modulů za sluncem tak, aby maximalizoval výrobu energie. Vzhledem ke snižující se ceně modulů se ale od aktivních systémů převážně ustupuje, protože pohyblivé prvky jsou náchylnější na poruchu a vyžadují nákladnější údržbu než systémy statické. V případě, že daná plodina benefituje z konkrétního nastavení agrovoltaického systému, může být větší motivace použít právě aktivní systém s naklápěním v závislosti na meteorologických podmínkách a potřebách různých plodin, čímž je podpoří v daných růstových fázích.

Agrovoltaika představuje inovativní přístup k zemědělské výrobě a energetice, který má potenciál řešit klíčové environmentální a hospodářské výzvy současnosti.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Agrivoltaics: The future of farming? Online. *Environment Journal*. 2023. Dostupné z: <https://environmentjournal.online/features-opinion/agrivoltaics-the-future-of-farming/>. [cit. 2024-02-11].

<sup>3</sup> WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-02-11].

<sup>4</sup> Contributing to achieving a sustainable primary sector. Online. *Repsol*. 2023. Dostupné z: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/future-of-the-world/agrivoltaics/index.cshtml>. [cit. 2024-02-11].

OBRÁZEK 2: AGROVOLTAIKA<sup>5</sup>



## 1.1 Historie agrovoltaiky

Historie a vývoj agrovoltaiky sahá do roku 1981, kdy němečtí vědci Armin Zastrow a Adolf Goetzberger poprvé popisovali teoretický koncept agrovoltaických systémů. Jejich cílem bylo maximalizovat využití zemědělské půdy tím, že zkombinují výrobu elektrické energie s pěstováním plodin. Tento nápad vznikl v reakci konkurenčního užívání půdy na produkci plodin a její současné potřebě pro výrobu elektřiny.<sup>6</sup>

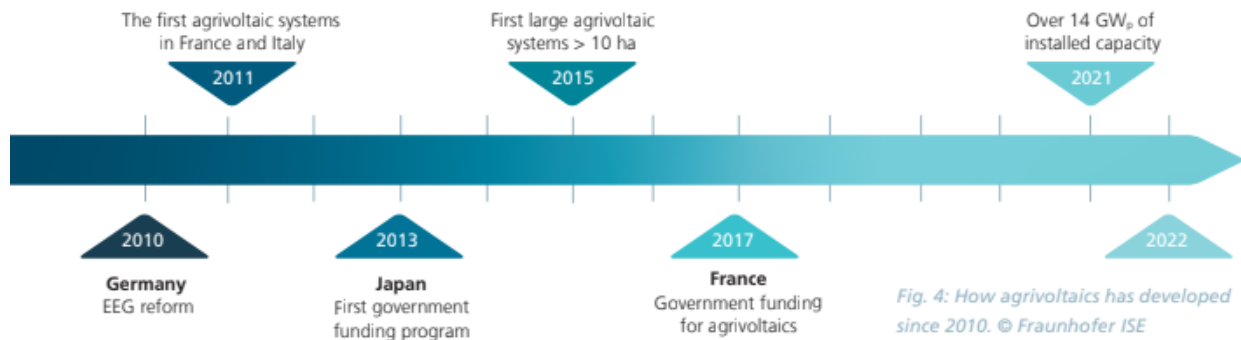
První vyvýšené agrovoltaické systémy byly vyvinuty v Japonsku v roce 2004, kde byl řešen především nedostatek půdy pro instalaci fotovoltaiky. Od roku 2011 pak v Japonsku velmi rychle pokročil rozvoj převážně malých systémů. Tento trend se brzy rozšířil i do Evropy, první instalace se uskutečnily ve Francii a Itálii v letech 2010 a 2011, a následným rozšířením instalací i v Asii, Austrálii nebo Spojených státech. AV systémy se začínají rozšiřovat i do dalších oblastí, včetně Afriky, kdy byl v roce 2018 postaven první systém, konkrétně v Tanzanii.

---

<sup>5</sup> Agrivoltaics: the world of agriculture can reap numerous benefits. Online. *Enel Green Power*. 2022. Dostupné z: <https://www.enelgreenpower.com/media/news/2022/12/agrivoltaics-benefits-world-agriculture>. [cit. 2024-03-24].

<sup>6</sup> EDUARD, M. The History of Agrivoltaic. Online. *RenewablePedia*. Dostupné z: <https://renewablepedia.com/the-history-of-agrivoltaic/>. [cit. 2024-02-11].

OBRÁZEK 3: VÝVOJ AGROVOLTAIKY OD ROKU 2010<sup>7</sup>



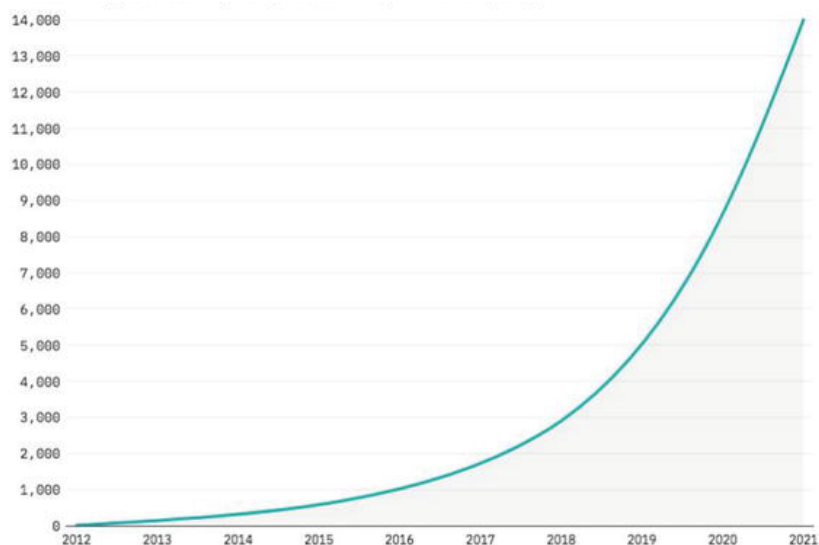
Mezinárodní vědecký zájem o agrivoltaiku roste trvale od roku 2000. Je to především díky snižujícím se cenám fotovoltaických modulů a jejich zvyšující se účinnosti, což podporuje ekonomiku této aplikace. Rapidním zvyšováním počtu vědeckých publikací přibližně od roku 2011 se potvrzuje, že technologie se dostává do aplikační fáze s reálnými výsledky. Různé typy plodin se pěstují pod fotovoltaickými konstrukcemi, což naznačuje rozmanitost možných aplikací tohoto konceptu a potenciál pro zvýšení produktivity půdy o 35–73 % na celosvětové úrovni.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> TROMMSDORFF, Max; GRUBER, Simon; KEINATH, Tobias; HOPF, Michaela; HERMANN, Charis et al. *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Online. 2. vydání. Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2022. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>. [cit. 2024-03-24].

<sup>8</sup> WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. *Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature*. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-02-11].



GRAF 1: CELOSVĚTOVĚ INSTALOVANÁ KAPACITA AV V LETECH 2012–2021 (MW)<sup>9</sup>



## 1.2 Dvojití využití půdy

Dvojití využití půdy v kontextu agrovoltaiky představuje inovativní přístup, který kombinuje výrobu solární energie s tradičním zemědělstvím na stejném celku půdy. Tento model nabízí řadu výhod, včetně efektivnějšího využití plochy, ochrany plodin před extrémními povětrnostními podmínkami a potenciálního zvýšení jejich výnosů. Výzkumy, včetně těch prováděných Fraunhoferovým institutem, ukazují, že agrovoltaické systémy mohou mít různý dopad na různé typy plodin.

Zelenina a listová zelenina (například salát nebo špenát) často těží ze stínění, které poskytují právě solární moduly, zejména v oblastech s intenzivním slunečním zářením. Stínění může snížit teplotu povrchu půdy a zvýšit vlhkost, což vede k lepšímu růstu a nižší spotřebě vody.

Ovocné stromy a keře (například jabloně či maliny) dosahují vyšší produkce při částečném zastínění, které snižuje riziko spálení listů a plodů sluncem a může podporovat rovnoměrnější zrání plodů.

Pastviny pro dobytek vybavené agrovoltaickými systémy poskytují stín pro dobytek během horkých letních měsíců, což zlepšuje jejich pohodu a vede k vyšší produkci masa i mléka.

Plodiny vyžadující vysokou úroveň slunečního záření (například některé druhy obilovin) mohou mít nižší výnos, ale současně mohou těžit z ochranných faktorů při extrémním počasí. Pro každou klimatickou oblast je třeba zvážit umístění a hustotu solárních modulů, aby nedocházelo k nadměrnému zastínění, respektive aby bylo kompenzováno adekvátní výrobou elektřiny.

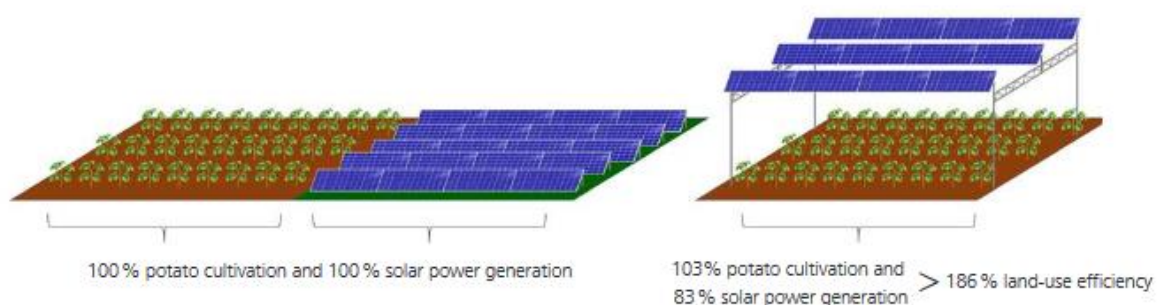
Výzkum Fraunhoferova institutu a dalších organizací ukázal, že agrovoltaické systémy mohou v některých případech zvýšit celkovou produkci biomasy a výnosy plodin.

<sup>9</sup> WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. Agrovoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-02-11].

Například, studie provedená v Německu ukázala, že u některých druhů zeleniny došlo k nárůstu výnosů až o 30 % v důsledku optimalizovaného mikroklimatu pod solárními moduly. Důležité je však poznamenat, že výsledky se mohou lišit v závislosti na specifických podmínkách, jako je typ půdy, klima, typ plodiny a konfigurace agrovoltaického systému.<sup>10</sup>

Agrovoltaika nabízí slibný přístup ke dvojitému využití půdy, který může přinést výhody jak pro výrobu energie, tak pro zemědělství. Výběr vhodných plodin a pečlivé plánování a design systému jsou klíčové pro maximalizaci těchto výhod a minimalizaci potenciálních negativních dopadů na výnosy plodin. Další výzkum a pilotní projekty jsou nezbytné pro lepší pochopení optimálních podmínek pro různé agrovoltaické aplikace.

OBRÁZEK 4: SROVNÁNÍ STANDARDNÍHO A DVOJÍHO VYUŽITÍ PŮDY A JEJICH EFEKTIVITY<sup>11</sup>



### 1.3 Globální změna klimatu

Globální změna klimatu je jednou z nejpalčivějších výzev současnosti, která vyžaduje okamžitou a koordinovanou reakci na mezinárodní úrovni. Charakterizuje ji především nárůst průměrných teplot, což je důsledkem akumulace skleníkových plynů v atmosféře. Tyto změny klimatu mají nejrůznější dopady, včetně zvýšení hladiny moří, změn srážkových vzorů a zvýšené frekvence extrémních živelných jevů, což může vést k závažným ekologickým, ekonomickým a sociálním důsledkům.

Podle studií z roku 2023 Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) se průměrná povrchová teplota planety Země od konce 19. století zvýšila o přibližně 1,0 °C. V posledních desetiletích ale došlo k zásadnímu urychlení oteplování. Důsledky jsou rozsáhlé a zahrnují změny v ekosystémech, hospodářství i lidském blahobytu. Zvyšující

<sup>10</sup> TROMMSDORFF, Max; GRUBER, Simon; KEINATH, Tobias; HOPF, Michaela; HERMANN, Charis et al. *Agrioltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Online. 2. vydání. Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2022. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>. [cit. 2024-03-24].

<sup>11</sup> TROMMSDORFF, Max; GRUBER, Simon; KEINATH, Tobias; HOPF, Michaela; HERMANN, Charis et al. *Agrioltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Online. 2. vydání. Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2022. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>. [cit. 2024-03-24].

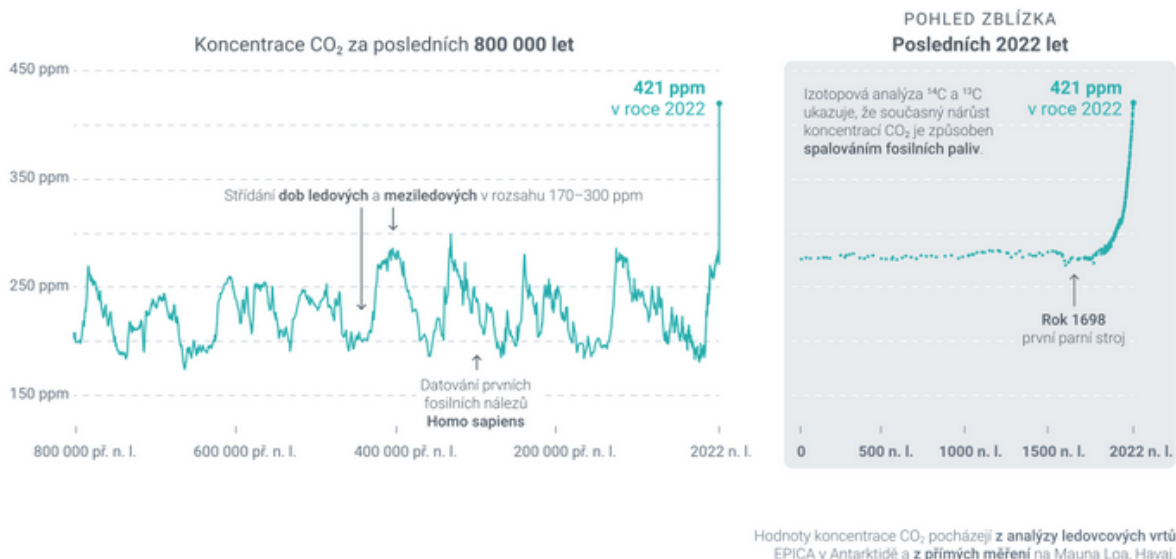
se teploty narušují zemědělské systémy, zvyšují nedostatek vody, ohrožují biodiverzitu a zvyšují frekvenci a intenzitu extrémních přírodních jevů.<sup>12</sup>

OBRÁZEK 5: VÝVOJ KONCENTRACE CO<sub>2</sub> V ATMOSFÉŘE<sup>13</sup>

Dnešní koncentrace CO<sub>2</sub> dosahují hodnot, které na Zemi nebyly za celou dobu existence lidstva.

ppm (parts per million) je jednotka koncentrace

Koncentrace 400 ppm CO<sub>2</sub> v atmosféře znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO<sub>2</sub>



V reakci na tyto výzvy, které přináší změna klimatu, se obecně zkoumají inovativní řešení v nejrůznějších oblastech. Jedno takové řešení, které si poslední dobou získává globálně pozornost i oblibu, je agrovoltaika, systém, který kombinuje zemědělskou produkci s výrobou obnovitelné energie v jeden čas na jednom místě. Tato interakce nabízí nespočet výhod, nejen v oblasti udržitelné energetiky, ale i v zemědělství, které se bezesporu potýká s důsledky změny klimatu. Agrovoltaické systémy umožňují efektivní využívání půdy, snižují potřebu vody díky stínění poskytované solárními moduly. To může vést ke zvýšení výnosů některých plodin.

Z hlediska mitigace změny klimatu agrovoltaika přispívá ke snižování emisí skleníkových plynů prostřednictvím výroby obnovitelné energie. Zároveň ale pomáhá zemědělcům adaptovat se na měnící se klimatické podmínky, a tím podporuje potravinovou bezpečnost a odolnost vůči klimatickým změnám. Tento přístup je také příkladem udržitelného využívání půdy, což je klíčové pro zachování biodiverzity a ekosystémových služeb. To vše potvrzují i výzkumy a projekty v oblasti agrovoltaiky – kombinace solární energie a zemědělství může hrát významnou roli v boji proti globální změně klimatu. Integrace těchto systémů vyžaduje multidisciplinární přístup, zahrnující výzkum v oblasti

<sup>12</sup> IPCC. Shrnutí pro tvůrce politik: Šestá hodnotící zpráva (AR6) Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC). Online. In: . Cambridge University Press, 2023, s. 46. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna\\_zprava\\_ipcc/\\$FILE/OEOK-AR6\\_SYR\\_CZ-20230920.PDF](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna_zprava_ipcc/$FILE/OEOK-AR6_SYR_CZ-20230920.PDF). [cit. 2024-03-30].

<sup>13</sup> Vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře. Online. *Fakta o klimatu*. 2022. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/koncentrace-co2>. [cit. 2024-04-21].

technologií, ekonomiky, ekologie a sociálních věd, aby bylo možné plně využít jejich potenciál.<sup>14</sup>

Klíčem k úspěchu je ale také politická vůle a mezinárodní spolupráce, která zajistí koordinované úsilí a investice do výzkumu a vývoje. Dále je nezbytné stanovit příznivé regulační a politické rámce, které podpoří adopci obnovitelných zdrojů a usnadní postupný ústup od fosilních paliv. Zároveň je nutné zvýšit osvětu a podporu veřejnosti pro tyto změny, protože společenská akceptace a zapojení jsou zásadní pro rychlou a účinnou transformaci energetického systému.

## 1.4 Rozdělení agrolvoltaických systémů

Každá rostlina vyžaduje specifické podmínky pro své pěstování, ať už se jedná o teplotu, vlhkost, osvětlení nebo typ půdy. Z tohoto důvodu je nutné, aby návrhy agrolvoltaických systémů byly přizpůsobeny konkrétním podmínkám, které jsou pro rostliny optimální a současně moduly mohly stále generovat dostatečné množství elektrické energie. Proto je důležité zvolit i vhodnou konstrukci modulů k dané rostlině s důrazem na jejich hlavní výhody a hustotu modulů, respektive článků tak, aby byl zajištěn dostatečný osvit nebo naopak stín.

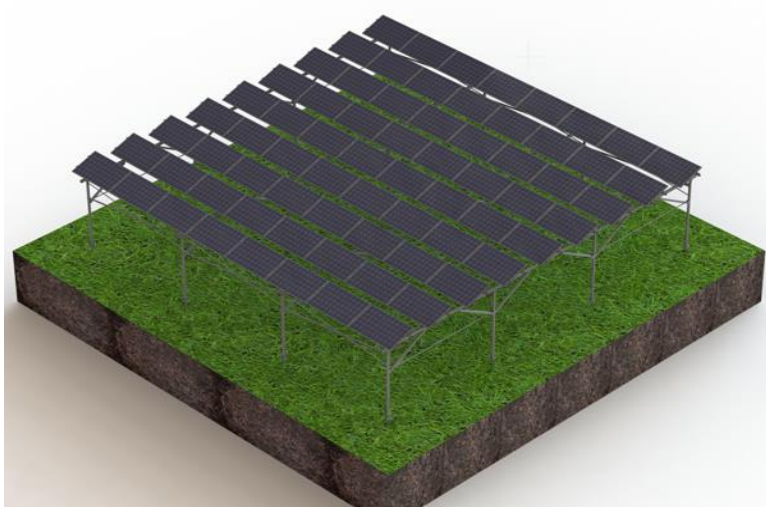
**Vyvýšené statické nadzemní systémy**, jsou nejpoužívanějším typem agrolvoltaických konstrukcí. Solární moduly jsou instalovány na pevných konstrukcích nad zemí, často ve výšce, která umožňuje zemědělskou činnost pod nimi. Tyto systémy jsou vhodné pro různé druhy plodin, včetně zeleniny a krmných plodin, a mohou také poskytovat stín i ochranu proti extrémním povětrnostním podmínkám.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> DINESH, Harshavardhan a PEARCE, Joshua M. The potential of agrivoltaic systems. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, roč. 54, s. 299-308. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>. [cit. 2024-03-30].

<sup>15</sup> JAIN, Pulkit; RAINA, Gautam; SINHA, Sunanda; MALIK, Prashant a MATHUR, Siddharth. Agrovoltatics: Step towards sustainable energy-food combination. Online. *Bioresource Technology Reports*. 2021, roč. 15. ISSN 2589014X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>. [cit. 2024-03-17].

OBRÁZEK 6: VYVÝŠENÉ STATICKÉ NADZEMNÍ SYSTÉMY<sup>16</sup>



**Aktivní (pohyblivé) solární systémy** využívají pohyblivé moduly, které se mohou během dne naklánět a otáčet tak, aby maximálně využily sluneční světlo. Tento typ konstrukce umožňuje optimalizovat produkci solární energie, zatímco stínění poskytované moduly lze přizpůsobit potřebám pod nimi pěstovaných plodin. Dynamické systémy jsou technologicky náročnější a dražší, ale nabízejí vyšší efektivitu a flexibilitu.<sup>17</sup>

OBRÁZEK 7: DYNAMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY<sup>18</sup>



<sup>16</sup> ANTAI TECHNOLOGY CO.,LTD. *Agricultural Greenhouses Mounting System*. Online. Antaisolar. Dostupné z: [https://www.antisolar.com/agricultural-greenhouses-mounting-system\\_p28.html](https://www.antisolar.com/agricultural-greenhouses-mounting-system_p28.html). [cit. 2024-03-24].

<sup>17</sup> JAIN, Pulkit; RAINA, Gautam; SINHA, Sunanda; MALIK, Prashant a MATHUR, Siddharth. *Agrovoltaics: Step towards sustainable energy-food combination*. Online. *Bioresource Technology Reports*. 2021, roč. 15. ISSN 2589014X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>. [cit. 2024-03-17].

<sup>18</sup> GODDING, Nicky. *European renewable energy company steps up UK presence after opening Coventry office*. Online. *The Business Magazine*. 2020. Dostupné z: <https://thebusinessmagazine.co.uk/companies/european-renewable-energy-company-steps-up-uk-presence-after-opening-coventry-office-last-year/>. [cit. 2024-03-17].

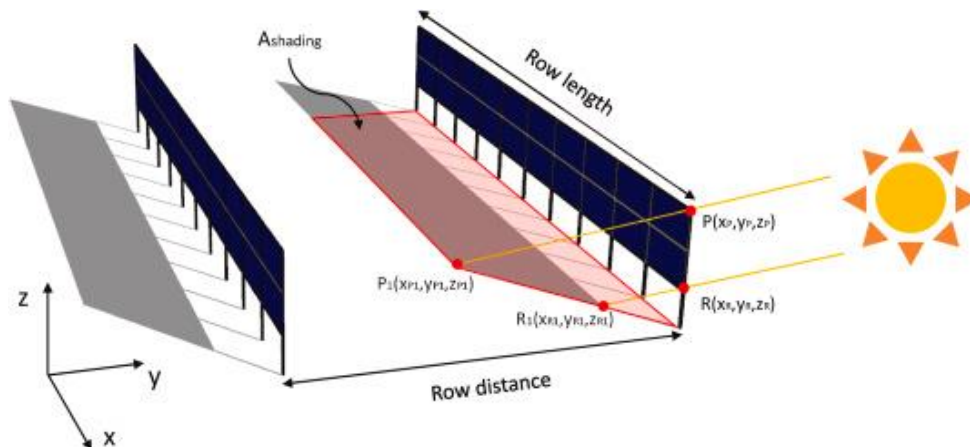
**Vertikální solární farmy** jsou relativně novým konceptem, kde jsou solární moduly instalovány ve vertikálních řadách nebo stěnách. Tento koncept se orientuje na východ a západ, díky čemuž lze dosáhnout špičkového zatížení v ranních a večerních hodinách. To zároveň optimalizuje stínění, podporuje biodiverzitu a umožňuje použití obvyklých zemědělských technologií pro zpracování plodin.

OBRÁZEK 8: VERTIKÁLNÍ SOLÁRNÍ FARMA S TRAKTOREM PŘI SEČENÍ<sup>19</sup>



U vertikálních systémů jsou zásadní rozestupy mezi řadami, aby byl zajištěn přístup pro techniku a nedocházelo k nadměrnému stínění plodiny v závislosti na průhlednosti modulů a výšce řad.

OBRÁZEK 9: VÝPOČET PRO ZASTÍNĚNÍ PLOCHY A ROZESTUP MEZI ŘADAMI<sup>20</sup>



<sup>19</sup> TROMMSDORFF, Max; DHAL, IpsaSweta; ÖZDEMİR, ÖzalEmre; KETZER, Daniel; WEINBERGER, Nora et al. Agrivoltaics: solar power generation and food production. Online. *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*. 2022, s. 159-210. ISBN 9780323898669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>. [cit. 2024-03-17].

<sup>20</sup> CAMPANA, Pietro Elia; STRIDH, Bengt; AMADUCCI, Stefano a COLAUZZI, Michele. Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. Online. *Journal of Cleaner Production*. 2021, roč. 325. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>. [cit. 2024-03-17].

V případě umístění na pastvině je zásadní ochrana konstrukce, protože především skot rád využívá moduly k drbání a dochází k jejich poškození. Obvykle postačuje instalace předsunutého elektrického ohradníku.<sup>21</sup>

**Integrované střešní systémy** kombinují solární moduly s krytinou střech zemědělských budov, jako jsou stáje nebo skladovací zařízení. Tento přístup nejenže generuje elektrickou energii, ale také využívá stávající zemědělskou infrastrukturu, čímž se snižují náklady na provoz farmy.

OBRÁZEK 10: INTEGROVANÝ STŘEŠNÍ SYSTÉM<sup>22</sup>



**Truhlíkové systémy** jsou inovativním způsobem pěstování vhodným především do sušších oblastí, kde moduly poskytují přístínění a truhlíkový systém šetří vodu. Jedná se o experimentální systém.

---

<sup>21</sup> AMADUCCI, Stefano. AgriVoltaics2022: Conference Catalog. Online. In: . S. 44. Dostupné z: [https://www.agrivoltaics-conference.org/fileadmin/data/AgriVoltaics/2022/AgriVoltaics2022\\_Conference\\_Catalog.pdf](https://www.agrivoltaics-conference.org/fileadmin/data/AgriVoltaics/2022/AgriVoltaics2022_Conference_Catalog.pdf). [cit. 2024-03-17].

<sup>22</sup> REUTHER, Christian. Allraum fürs Dorfleben Gemeinschaftshaus von furoris X art im Erzgebirge. Online. *BauNetz*. 2022. Dostupné z: [https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Gemeinschaftshaus\\_von\\_furoris\\_X\\_art\\_im\\_Erzgebirge\\_7850246.html](https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Gemeinschaftshaus_von_furoris_X_art_im_Erzgebirge_7850246.html). [cit. 2024-03-17].

OBRÁZEK 11: TRUHLÍKOVÝ SYSTÉM<sup>23</sup>



**Agrovoltaické skleníky** integrují solární moduly přímo do konstrukce skleníků, čímž poskytují energii potřebnou pro osvětlení, vytápění a další systémy, zároveň umožňují i průchod dostatečného množství slunečního světla pro pěstování rostlin. Tento typ konstrukce je ideální pro intenzivní zemědělství a může výrazně snížit energetické náklady spojené s provozem skleníků.<sup>24</sup>

OBRÁZEK 12: AGROVOLTAICKÝ SKLENÍK<sup>25</sup>



**Lanové systémy** dovolují moduly umisťovat nejen na pevné konstrukce, ale i na lanové systémy, které pomohou snížit náklady a zlepšit přístup techniky. Lanové konstrukce se pro fotovoltaiku používají především na stínění vodních kanálů, nestabilní a příkré svahy,

---

<sup>23</sup> AMADUCCI, Stefano. AgriVoltaics2022: Conference Catalog. Online. In: . S. 44. Dostupné z: [https://www.agrivoltaics-conference.org/fileadmin/data/AgriVoltaics/2022/AgriVoltaics2022\\_Conference\\_Catalog.pdf](https://www.agrivoltaics-conference.org/fileadmin/data/AgriVoltaics/2022/AgriVoltaics2022_Conference_Catalog.pdf). [cit. 2024-03-17].

<sup>24</sup> DINESH, Harshavardhan a PEARCE, Joshua M. The potential of agrivoltaic systems. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, roč. 54, s. 299-308. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>. [cit. 2024-03-24].

<sup>25</sup> VR, Akshay. The Benefits and Challenges of Solar-Powered Greenhouses. Online. *ARKA 360*. 2023. Dostupné z: <https://arka360.com/ros/solar-powered-greenhouses-benefits-challenges/>. [cit. 2024-03-24].



kde by pevná konstrukce byla technicky neproveditelná nebo nedávala ekonomický smysl. Lanová agrovoltaika čerpá ze zkušeností z konstrukcí chmelnic, které jsou upraveny a zesíleny tak, aby unesly váhu modulů.

OBRÁZEK 13: LANOVÝ SYSTÉM<sup>26</sup>



**Vysoké vertikální systémy** zahrnují kategorie různých variant solárních věží s vertikálními nebo mírně sklopenými moduly, které zabírají menší plochu, ale vrhají delší stín, nicméně jsou staticky náročnější na výstavbu.

OBRÁZEK 14: SOLÁRNÍ VĚŽ<sup>27</sup>



**Hybridní agrovoltaické systémy** kombinují fotovoltaické moduly s větrnými turbínami, bateriemi, elektrolyzéry a dalšími formami akumulace energie. Představují zatím

---

<sup>26</sup> EDF RENOUVELABLES. *Agrivoltaism*. Online. EDF Renewables. Dostupné z: <https://edf-renouvelables.com/en/nos-offres/agrivoltaisme/>. [cit. 2024-03-24].

<sup>27</sup> Three Sixty Solar Demonstration Tower: 16 Months in Nature. Online. In: *Three Sixty Solar*. Three Sixty Solar, 2023. Dostupné z: <https://threesixtysolar.com/wp-content/uploads/2023/02/2023-02-22-Demonstration-Solar-Tower-White-Paper.pdf>. [cit. 2024-03-24].

nejpokročilejší koncept pro maximální využití potenciálu obnovitelných zdrojů energie v zemědělských aplikacích a stabilitu dodávek.

OBRÁZEK 15: HYBRIDNÍ SYSTÉM AGROVOLTAIKY<sup>28</sup>



Větrné turbíny (velké horizontální i malé vertikální přímo nad moduly) přidávají do systému další zdroj obnovitelné energie, který může být výhodný zejména v noci nebo během období, kdy je slunečního svitu méně. Tento typ turbín je vhodný pro agrovoltaické systémy díky své schopnosti efektivně fungovat i při nízkých rychlostech větru a díky kompaktním rozměrům, které minimalizují zastínění zemědělské půdy.

Baterie slouží jako klíčový prvek pro krátkodobou akumulaci energie, umožňují vyrovnávání výkyvů v produkci a spotřebě a zajišťují nepřetržité napájení i v dobách, kdy není dostupná energie z fotovoltaických modulů nebo větrných turbín. Elektrolyzéry, které přeměňují elektrickou energii na vodík, představují další dimenzi akumulace energie. Vodík může být používán pro výrobu syntetického zemního plynu (syngas) nebo skladován pro následné využití na výrobu elektrické energie pomocí palivových článků. Použití v dopravě vzhledem k nízké účinnosti bude spíše okrajové.

Hybridní agrovoltaické systémy mohou být dále rozšířeny o další technologie pro akumulaci energie, jako jsou například systémy akumulace tepla, gravitační baterie nebo systémy ukládání energie do zkapalněného vzduchu, které mohou zvýšit flexibilitu a efektivitu celkového systému.

Integrace těchto různorodých technologií do jednoho hybridního systému přináší významné výhody pro zemědělství a obnovitelné zdroje energie. Nejenže se zvyšuje efektivita využití půdy a energie, ale také se posiluje odolnost proti kolísání dostupnosti jednotlivých zdrojů energie. Navíc, využitím obnovitelných zdrojů a inovativních metod akumulace energie mohou tyto systémy výrazně přispět k dekarbonizaci zemědělského sektoru a ke snížení jeho ekologické stopy. Hybridní agrovoltaické systémy tak

---

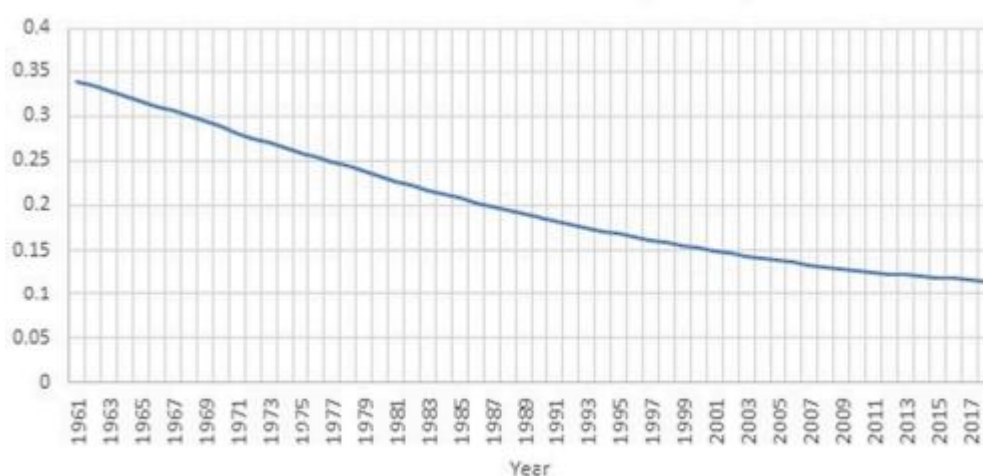
<sup>28</sup> WIERZBOWSKA-KUJDA, Marta. Pierwsza polska hybryda OZE z koncesją. Pokazujemy instalację z bliska. Online. *TerazŚrodowisko*. 2024. Dostupné z: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/pierwsza-polska-hybryda-oze-z-koncesja-pokazujemy-instalacje-z-bliska-14766.html>. [cit. 2024-03-24].

představují klíčový krok k dosažení udržitelnějšího a energeticky soběstačného zemědělství.<sup>29</sup>

## 1.5 Agrolvoltaika v globálním kontextu

Jak již bylo zmíněno dříve, agrolvoltaické projekty se objevují v různých klimatických a geografických podmínkách, od suchých oblastí přes mírné klimatické pásy až po tropické regiony. Výzkumy, například od Fraunhoferova institutu, ukazují, že agrolvoltaika může zvýšit celkovou produktivitu půdy a zároveň snížit stres a ztráty vody u některých plodin. Agrolvoltaika může pomoci čelit výzvám spojeným s růstem populace, jako je nedostatek zemědělské půdy a elektřiny a současně podporovat biodiverzitu i udržitelnější budoucnost.<sup>30</sup>

GRAF 2: VÝVOJ ORNÉ PŮDY V INDII (V HEKTARECH NA OBYVATELE)<sup>31</sup>



### 1.5.1 Příklady pilotních projektů agrolvoltaiky

Výzkumný projekt v Německu zaměřený na zkoumání a zvyšování klimatické odolnosti v sadech a zároveň zajištění bezpečné a udržitelné produkce. V rámci projektu APV-Obstbau se Fraunhoferův institut pro solární energetické systémy ISE a BayWar.e. společně s dalšími spojili na tomto výzkumu, který je realizován na území Gelsdorfu v Porýní na celkové ploše 9 100 m<sup>2</sup>. Projekt porovnává produkci jablek na stejném kusu půdy pod různými systémy – běžnými i agrolvoltaickými systémy. Cílem je určit, do jaké míry agrolvoltaické systémy chrání plodiny před extrémním počasím a škodlivým

<sup>29</sup> WIERZBOWSKA-KUJDA, Marta. Pierwsza polska hybryda OZE z koncesją. Pokazujemy instalację z bliska. Online. *TerazŚrodowisko*. 2024. Dostupné z: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/pierwsza-polska-hybryda-oze-z-koncesja-pokazujemy-instalacje-z-bliska-14766.html>. [cit. 2024-03-24].

<sup>30</sup> TROMMSDORFF, Max; GRUBER, Simon; KEINATH, Tobias; HOPF, Michaela; HERMANN, Charis et al. *Agrolvoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Online. 2. vydání. Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2022. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>. [cit. 2024-03-24].

<sup>31</sup> JAIN, Pulkit; RAINA, Gautam; SINHA, Sunanda; MALIK, Prashant a MATHUR, Siddharth. *Agrolvoltaics: Step towards sustainable energy-food combination*. Online. *Bioresource Technology Reports*. 2021, roč. 15. ISSN 2589014X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>. [cit. 2024-03-23].

prostředím. Zároveň se ale bude zkoumat i to, do jaké míry se liší přístup ke světlu mezi jednotlivými řešeními. Projekt je plánován na 5 let a skončit by měl v roce 2025.<sup>32</sup>

Ani Indie není výjimkou v rozrůstajícím se trendu agrovoltaických projektů. Země podniká prvotní kroky k přijetí tohoto konceptu a spouští nespočet pilotních projektů po celé republice. Dosavadní výsledky pilotních projektů ukazují a potvrzují tak tvrzení, že agrovoltaika neměla žádný negativní dopad, ba naopak v některých případech dokonce i zvýšila výtěžky sklizně. Indie se aktuálně nachází ve fázi demonstrace této technologie a v zemi běží hned několik projektů, které jsou pouze pilotními.<sup>33</sup> Jedním z největších projektů v zemi je projekt Cochin International Airport Limited (CIAL) v Keralě, který měl k roku 2020 celkovou kapacitu solárních modulů 42 MWp na 20 akrech půdy sdílející se zemědělstvím. Pěstuje se zde více než 20 různých druhů zeleniny, včetně rajčat, dýně, okry, lilku nebo zelí, a zároveň i vybrané stromy, keře či květiny.<sup>34</sup>

OBRÁZEK 16: AGROVOLTAICKÁ FARMA COCHIN AIRPORT V KERALĚ, INDIE<sup>35</sup>



Afrika má jako kontinent jeden z největších potenciálů ze všech. Minulý rok tam Botswanská univerzita zemědělství a přírodních zdrojů (BUAN) spustila v hlavním městě Botswanské republiky Gaborone agrovoltaický projekt. Projekt byl prvním svého druhu

<sup>32</sup> HANISCH, Claudia M. A. a STEINHÜSER, Andreas. First agrivoltaic system for carbon-neutral orcharding being tested. Online. In: . Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2021. Dostupné z: [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2021/2121\\_ISE\\_e\\_PR\\_Agri\\_PV\\_Orcharding.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2021/2121_ISE_e_PR_Agri_PV_Orcharding.pdf). [cit. 2024-03-25].

<sup>33</sup> Agrivoltaics in India: Challenges and opportunities for scale-up. Online. In: . Kanada: International Institute for Sustainable Development, 2023, s. 41. Dostupné z: <https://www.iisd.org/system/files/2023-05/agrivoltaics-in-india.pdf>. [cit. 2024-03-25].

<sup>34</sup> Agrivoltaics in India: Overview of projects and relevant policies. Online. In: . 3. vydání. New Delhi: National Solar Energy Federation of India (NSEFI), 2023. Dostupné z: [https://www.energyforum.in/fileadmin/user\\_upload/india/media\\_elements/Photos\\_And\\_Gallery/20201210\\_SmarterE\\_AgroPV/20201212\\_NSEFI\\_on\\_AgriPV\\_in\\_India\\_1\\_01.pdf](https://www.energyforum.in/fileadmin/user_upload/india/media_elements/Photos_And_Gallery/20201210_SmarterE_AgroPV/20201212_NSEFI_on_AgriPV_in_India_1_01.pdf). [cit. 2024-03-25].

<sup>35</sup> Agrivoltaics in India: Overview of projects and relevant policies. Online. In: . 3. vydání. New Delhi: National Solar Energy Federation of India (NSEFI), 2023. Dostupné z: [https://www.energyforum.in/fileadmin/user\\_upload/india/media\\_elements/Photos\\_And\\_Gallery/20201210\\_SmarterE\\_AgroPV/20201212\\_NSEFI\\_on\\_AgriPV\\_in\\_India\\_1\\_01.pdf](https://www.energyforum.in/fileadmin/user_upload/india/media_elements/Photos_And_Gallery/20201210_SmarterE_AgroPV/20201212_NSEFI_on_AgriPV_in_India_1_01.pdf). [cit. 2024-03-25].

vůbec na území jihoafrických států, výkon solárních modulů dosahuje 1 MW<sub>p</sub>. Z vyrobené elektřiny pak univerzita během dnů pokrývá své energetické výdaje.<sup>36</sup>

OBRÁZEK 17: PĚSTOVÁNÍ RAJČAT POD SOLÁRNÍMI MODULY NA BOTSWANSKÉ UNIVERZITĚ ZEMĚDĚLSTVÍ A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ V GABORONE<sup>37</sup>



### 1.5.2 Mezinárodní politika a trendy podporující agrovoltaiku

Evropská unie podporuje integraci agrovoltaiky a udržitelné zemědělské praxe prostřednictvím několika klíčových politik, zejména prostřednictvím skrze „Zelené dohody“ (European Green Deal) a strategii „Z farmy na vidličku“ (Farm to Fork Strategy). Tyto politiky představují ambiciózní rámec pro transformaci potravinových systémů EU s cílem dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050, zlepšit veřejné zdraví, zabezpečit udržitelnou produkci a konzumaci potravin, a to vše s minimálním či pozitivním dopadem na životní prostředí.

Strategie „Z farmy na vidličku“ je klíčovým prvkem „Zelené dohody“ a zaměřuje se na udržitelnost celého potravinového řetězce – od zemědělské výroby, přes zpracování a distribuci, až po konzumaci. Kromě snahy o snížení závislosti na pesticidech a zvýšení integrace biologického hospodaření klade důraz na zajištění potravinové bezpečnosti, výživy a veřejného zdraví, přičemž usiluje o přístupnost dostatečného množství bezpečných, výživných a udržitelných potravin pro všechny.<sup>38</sup>

Projekty financované v rámci „Zelené dohody“, jako jsou SISTERS, ClieNFarms nebo ZeroW, přistupují k potravinovému sektoru holisticky a usilují o udržitelný výrobní systém, který podporuje ekosystémové služby, zabezpečení potravin, lidské blaho a příležitosti pro

<sup>36</sup> XINHUA. Botswana launches first Agrivoltaic project to harness solar power. Online. *Global Times*. 2023. Dostupné z: <https://www.globaltimes.cn/page/202303/1287469.shtml>. [cit. 2024-03-25].

<sup>37</sup> XINHUA. Botswana launches first Agrivoltaic project to harness solar power. Online. *Global Times*. 2023. Dostupné z: <https://www.globaltimes.cn/page/202303/1287469.shtml>. [cit. 2024-03-25].

<sup>38</sup> EVROPSKÁ KOMISE. Strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“: pro spravedlivé, zdravé a ekologické potravinové systémy. Online. In: . Brusel, 2020. Dostupné z: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0013.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1&format=PDF). [cit. 2024-03-30].

důstojné zaměstnání. Tato iniciativa je v souladu s cíli strategie „Z farmy na vidličku“, která klade důraz na neutrální či pozitivní dopad na životní prostředí, adaptaci a zmírnění změny klimatu, obrácení ztráty biodiverzity a zajištění potravinové bezpečnosti.

V kontextu zemědělství a agrolvoltaiky tyto politiky EU zdůrazňují potřebu inovace a udržitelných praktik, které by mohly zahrnovat rozvoj agrolvoltaických systémů, jež kombinují produkci solární energie s udržitelným zemědělstvím, aby se zvýšila efektivita využívání půdy a podpořila biodiverzita. Tento přístup je v souladu s celkovým cílem EU stát se do roku 2050 prvním klimaticky neutrálním kontinentem.<sup>39</sup>

Ve Spojených státech amerických je podpora agrolvoltaiky součástí širší strategie pro boj proti klimatickým změnám a podporu udržitelného rozvoje. Současná americká administrativa si stanovila cíl dekarbonizovat sektor elektřiny do roku 2035, přičemž solární energie má hrát klíčovou roli. V USA se uznává koncept agrolvoltaiky, jakožto řešení pro zmírnění konfliktů využívání půdy. Americké ministerstvo energetiky (DOE) proto investovalo 8 milionů dolarů do šesti výzkumných projektů v rámci programu FARMS, které mají prozkoumat různé konfigurace solárních systémů, plodin a způsobů pěstování, aby se vyvinuly replikovatelné modely nabízející nové ekonomické příležitosti.<sup>40</sup>

Kromě toho, nedávno představený zákon Protecting Future Farmland Act poukazuje na agrolvoltaiku jako na důležitou součást budoucnosti Ameriky. Zákon usiluje o ochranu agrolvoltaických farem a podporuje odpovědné nasazení obnovitelné energie na zemědělské půdě, s cílem zachovat jejich životaschopnost a podpořit udržitelnost.<sup>41</sup>

Mezinárodní energetická agentura (IEA) a Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) vidí rovněž zajímavý potenciál agrolvoltaiky pro současné zvýšení produkce potravin a výrobu obnovitelné energie. Zatímco IEA se zaměřuje na integraci obnovitelných zdrojů energie, včetně agrolvoltaiky, do energetických systémů pro dosažení globálních cílů v oblasti udržitelnosti, FAO podporuje projekty agrolvoltaiky jako součást své strategie zvýšení odolnosti zemědělských ekosystémů a boje proti změně klimatu.<sup>42</sup>

Celkově mezinárodní politika a trendy ukazují na rostoucí uznání agrolvoltaiky jako důležitého nástroje pro dosažení udržitelného rozvoje, energetické soběstačnosti a zvýšení odolnosti zemědělství vůči klimatickým změnám.

## 1.6 Agrolvoltaika v globálním kontextu

V České republice je instalace agrolvoltaických systémů na počátku, zájem o ně ale roste v souvislosti s hledáním cest k diverzifikaci zemědělské výroby a zvyšování efektivity

---

<sup>39</sup> EVROPSKÁ KOMISE. *Realizace Zelené dohody pro Evropu*. Online. Evropská komise. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_cs](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs). [cit. 2024-03-30].

<sup>40</sup> FISCHER, Anne. US government allocates \$8 million to support agrivoltaics. Online. *Pvmagazine*. 2022. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/2022/12/15/us-government-allocates-8-million-to-support-agrivoltaics/>. [cit. 2024-03-30].

<sup>41</sup> FISCHER, Anne. Bipartisan Farmland actacknowledges that agrivoltaics are part of America's future. Online. *Pvmagazine*. 2023. Dostupné z: <https://pv-magazine-usa.com/2023/10/23/bipartisan-farmland-act-acknowledges-that-agrivoltaics-are-part-of-americas-future/>. [cit. 2024-03-30].

<sup>42</sup> WAGNER, Moritz; LASK, Jan; KIESEL, Andreas; LEWANDOWSKI, Iris; WESELEK, Axel et al. Agrivoltaics: The Environmental Impacts of Combining Food Crop Cultivation and Solar Energy Generation. Online. *Agronomy*. 2023, roč. 13, č. 2. ISSN 2073-4395. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020299>. [cit. 2024-03-31].

využití zemědělské půdy. Země má dobré předpoklady pro rozvoj agrovoltaiky díky svému klimatu, které umožňuje pěstování široké škály plodin, a dostatečnému množství slunečního záření pro efektivní výrobu solární energie.

V současné době probíhá legislativní proces, který umožní budování agrovoltaiky na zemědělské půdě bez jejího vyjímání z půdního fondu.<sup>43</sup> Je zde několik testovacích instalací, které byly povoleny jako výroba energie, ale technicky splňují budoucí definici agrovoltaiky. Jedná se například o instalaci společnosti ČEZ v Ledvicích. Na nové fotovoltaické elektrárně tam ČEZ zkouší vlastnosti a vhodnost různých typů modulů, které chce po vyhodnocení nasazovat v připravovaných velkých solárních parcích, včetně agrovoltaiky.<sup>44</sup> Dalším již spuštěným projektem je instalace energetické společnosti MND, která v listopadu 2023 zprovoznila první agrovoltaickou elektrárnu v Česku. Na jihomoravské vinici vybudovala fotovoltaickou elektrárnu o výkonu bezmála 100 kW. Vzhledem k zatím chybějící legislativě jde ale jen o demonstrační pilotní projekt.<sup>45</sup>

S rostoucím důrazem na udržitelnost a obnovitelné zdroje energie se očekává, že agrovoltaika bude v České republice hrát stále významnější roli. To zahrnuje nejen zvyšování produkce čisté energie a zlepšování efektivity zemědělské výroby, ale také přispívání k ochraně životního prostředí a podpoře biodiverzity. Pro dosažení těchto cílů bude klíčová další podpora výzkumu, vývoje a implementace agrovoltaických projektů, stejně jako vytváření příznivých podmínek pro investice do této oblasti.

OBRÁZEK 18: AGROVOLTAIKA VE STARÉM PODDVOROVĚ<sup>46</sup>



<sup>43</sup> BAROCH, Pavel. V Česku se plánují první projekty agrovoltaiky, ale brzdí je chybějící zákon. Vláda už návrh dostala. Online. *Obnovitelně.cz*. 2023. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/2588/v-cesku-se-planuji-prvni-projekty-agrovoltaiky-ale-brzdi-je-chybejici-zakon-vlada-uz-navrh-dostala>. [cit. 2024-03-28].

<sup>44</sup> SCHREIER, Martin. Ledvice se mění v laboratoř zelené energetiky. Po unikátní vodní turbíně s akumulací tu ČEZ zkouší moderní solární panely pro nové velké elektrárny. Online. *Skupina ČEZ*. 2021. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/ledvice-se-meni-v-laborator-zelene-energetiky.-po-unikatni-vodni-turbine-s-akumulaci-tu-cez-zkousi-moderni-solarni-panely-pro-nove-velke-elektrarny-141426>. [cit. 2024-03-28].

<sup>45</sup> SOUČEK, Ondřej. První česká agrovoltaika bude vyrábět elektřinu na víně. MND ji připojí v listopadu. Online. *E15*. 2023. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prvni-ceska-agrovoltaika-bude-vyrabet-elektřinu-na-vine-mnd-ji-pripoji-v-listopadu-1410862>. [cit. 2024-03-28].

<sup>46</sup> SOUČEK, Ondřej. První česká agrovoltaika bude vyrábět elektřinu na víně. MND ji připojí v listopadu. Online. *E15*. 2023. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prvni-ceska-agrovoltaika-bude-vyrabet-elektřinu-na-vine-mnd-ji-pripoji-v-listopadu-1410862>. [cit. 2024-03-28].

## 1.6.1 Příčiny současného stavu

Fotovoltaika na zemědělské půdě se díky překotnému rozvoji v letech 2009–2011 zapsala do veřejného povědomí velmi negativně. V té době vznikl termín solární baroni, ale ve skutečnosti velká část provozovatelů byla nucena elektrárny prodat větším hráčům, protože komplikace s připojením a dodatečné zdanění ovlivnilo původní finanční modely. Jednalo se o klasické elektrárny s maximálním využitím velmi bonitní půdy, především na Jižní Moravě, s vysokou hustotou osazení solárními moduly (1 MW<sub>p</sub>/ha).

Bylo to způsobeno zcela nevhodným nastavením výkupních cen, které zdeformovaly trh a na dlouhou dobu zablokovaly smysluplný rozvoj technologie v ČR. Kolem roku 2010 bylo vybudováno s velkými dotacemi téměř 2 GW<sub>p</sub> fotovoltaiky na zemědělské půdě. Dnes by stejné prostředky umožnily výstavbu více jak 12 GW<sub>p</sub>.<sup>47</sup>

## 1.6.2 Legislativní rámec a podmínky rozvoje

V současné době probíhá schvalovací proces legislativní úpravy umožňující výstavbu agrovoltaiky a novela čeká v Poslanecké sněmovně Parlamentu České republiky. Vládní návrh zatím postrádá řešení umístění stavby, což bude řešeno poslaneckým návrhem a je předmětem odborných debat, kdy se vybírá mezi více variantami.

Ministerstvo životního prostředí navrhuje provést takovou úpravu právních předpisů, která umožní umísťovat agrovoltaiku v nezastavěném území bez ohledu na kapacitu. V současnosti nelze v nezastavěném území umísťovat agrovoltaiku o výkonu nižším než 1 MW – jde o limit nastavený energetickým zákonem pro uznání obnovitelných zdrojů za veřejnou technickou infrastrukturu, jelikož dle § 122 nového stavebního zákona lze při splnění dalších podmínek v nezastavěném území umísťovat pouze veřejnou technickou infrastrukturu. Pro všechny varianty platí, že agrovoltaiku bude možné umístit v nezastavěném území pouze tehdy, pokud to územní plán výslovně nevylučuje a pokud bude v souladu s charakterem území.

### Varianta 1:

Doplnit do § 8a zákona o ochraně zemědělského půdního fondu, že agrovoltaická výrobní elektřiny se zřizuje ve veřejném zájmu. To by znamenalo, že agrovoltaická výrobní elektřiny by byla veřejnou technickou infrastrukturou bez ohledu na svůj výkon.

Pozitiva této varianty spočívají v optimálním řešení z hlediska systematiky obsahu právních předpisů, dále nebude nutné ani otevírat stavební zákon, existuje pouze malé riziko, že obce začnou masivně vylučovat umísťování agrovoltaiky v územních plánech a také není nutné zasahovat a měnit energetický zákon.

Tuto variantu preferuje hlavně Ministerstvo pro místní rozvoj.

### Varianta 2:

Doplnit do § 122 odst. 1 stavebního zákona jako nové písmeno i) agrovoltaické výrobní elektřiny. To by znamenalo přidání agrovoltaické výrobní elektřiny do výčtu staveb, které lze (při splnění dalších podmínek) umísťovat v nezastavěném území.

---

<sup>47</sup> VOBOŘIL, David. Příčiny solárního boomu v České republice. Online. *OEnergetice.cz*. 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energeticka-legislativa-cr/priciny-solarniho-boomu>. [cit. 2024-03-28].



Pozitiva jsou, že z hlediska uživatelů stavebního práva je úprava transparentní a jasná.

Na druhou stranu negativa znamenají, že zásah do § 122 nového stavebního zákona upoutá pozornost případných odpůrců výstavby obnovitelných energií v daném území. Proto lze častěji než u varianty 1 a 3 čekat ze strany obcí „preventivní“ změny územního plánu, kterými výslovně vyloučí výstavbu agrolvoltaiky v nezastavěném území. Agrolvoltaika bude v § 122 uvedena v podstatě dvakrát – jednou výslovně a jednou jako podmnožina veřejné technické infrastruktury. Důvodem bude pouze to, že veřejná technická infrastruktura nezahrnuje agrolvoltaiku pod 1 MW. Zároveň bude nutné otevírat stavební zákon.

Ministerstvo pro místní rozvoj tuto variantu nepreferuje. Nicméně je akceptovatelná, pokud by nebylo možné se s Ministerstvem životního prostředí dohodnout na variantě 1.

### **Varianta 3:**

Doplnit v § 13 stavebního zákona agrolvoltaiku do výčtu staveb pro zemědělství.

Pozitiva ze strany Ministerstva pro místní rozvoj nejsou žádná.

Jakožto stavba pro zemědělství bude jakákoliv agrolvoltaika bez ohledu na kapacitu vyžadovat povolení stavby, i v případech, kdy by konvenční fotovoltaika o stejné kapacitě povolení nevyžadovala, jelikož nový stavební zákon pracuje obecně s výrobou energie z obnovitelných zdrojů, které dělí na drobné, jednoduché a vyhrazené stavby, přičemž drobné stavby nevyžadují povolení. Pokud agrolvoltaika bude zemědělskou stavbou, zcela vypadne z této systematiky. Pro stavebníky to znamená komplikaci na místo deklarovaného zjednodušení. Zároveň návrh vztáhne na agrolvoltaiku technické požadavky pro zemědělské stavby, které jsou z logiky jiné než pro technickou infrastrukturu. U velkých instalací nad 5 MW, které v případě konvenční fotovoltaiky povoluje Dopravní a energetický stavební úřad, by agrolvoltaiku naopak povoloval běžný stavební úřad. Česká republika deklaruje i vůči Evropské unii, že zjednodušuje povolovací procesy pro obnovitelné zdroje. Tímto bychom je naopak komplikovali. Dále by vyvstávala i pochybnost, zda lze agrolvoltaiku umístit v případech, kdy územní plán připouští výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů, ale výslovně vylučuje stavby pro zemědělství, popřípadě naopak. Důsledkem může být snížení právní jistoty investorů. V neposlední řadě by bylo i v této variantě nutné otevírat stavební zákon.

Pro Ministerstvo pro místní rozvoj je tato varianta zcela nepřijatelná.

### **Varianta 3.1:**

Tato varianta je stejná jako varianta 3 a doplňuje, že agrolvoltaika do 50 kW je drobnou stavbou a agrolvoltaika nad 5 MW je povolována Dopravním a energetickým stavebním úřadem (DESÚ).

Reaguje na malou část kritiky varianty 3, ale zavádí speciální režim pro agrolvoltaiku, což bude do budoucna působit problémy – například plovoucí fotovoltaika bude potřebovat další speciální režim, na místo jednotného pro všechnu fotovoltaiku včetně agrolvoltaiky.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> ČESKÁ REPUBLIKA. Meziřesortní připomínkové řízení, Návrh zákona, kterým se mění zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů. In: . 2023.

### **1.6.3 Integrace agrovoltaiky do českého zemědělství**

Spojení fotovoltaiky se zemědělstvím se už několik let postupně rozvíjí ve Francii, Nizozemsku či Německu. Mnohé tamní projekty ukazují, že lze vyrábět čistou energii i na zemědělských plochách bez ztráty jejich hlavní funkce, tedy produkce potravin. Jenže, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, v Česku zatím chybí potřebná legislativa. Hlavní překážkou zůstává nutnost vyjmutí dotčené půdy z půdního fondu, což by mělo po schválení nové legislativy odpadnout. Zájem o tuto odnož fotovoltaiky přitom mezi firmami i zemědělci je.

## 2 Fotovoltaické moduly

### 2.1 Historie fotovoltaiky

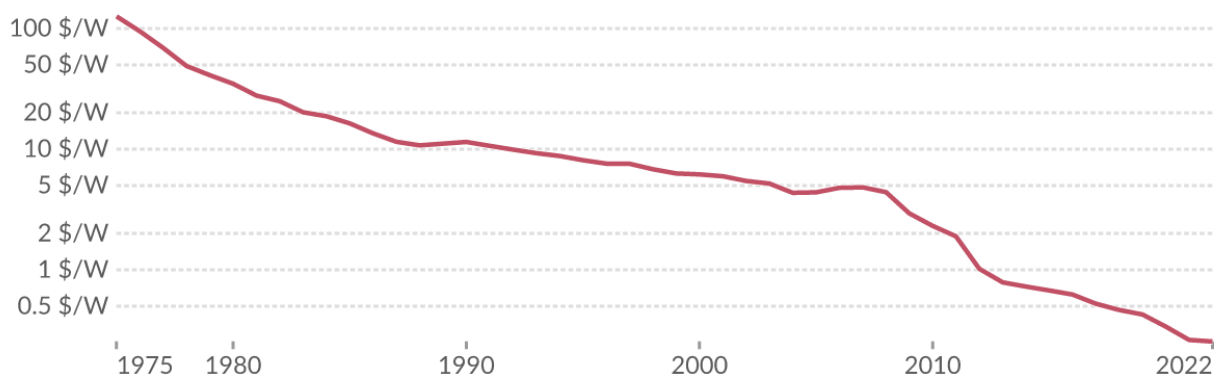
Samotný fotoelektrický jev pozoroval již v roce 1839 Alexandre Edmond Becquerel, kdy zjistil, že proud mezi kovovými elektrodami ponořenými v roztoku (kapalině) se mění v závislosti na intenzitě osvětlení.

Fyzikální princip fotoelektrického jevu teoreticky popsal až Albert Einstein v práci „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“ z roku 1905 za předpokladu, že na elektromagnetické pole aplikoval kvantovou teorii, kterou Max Karl Ernst Ludwig Planck publikoval na přelomu století. Z Einsteinova vysvětlení vyplývá, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci záření (energii fotonů) a počet elektronů na intenzitě záření (počtu fotonů). Právě za práce pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákonitostí fotoelektrického jevu obdržel Albert Einstein v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku.

První fotovoltaický článek, který byl použitelný pro výrobu elektřiny, byl vyroben v roce 1954 v Bellových laboratořích v USA. Jednalo se o článek z monokrystalického křemíku, který měl účinnost kolem 6 %.<sup>49</sup>

Zdokonalená výroba polovodičů z křemíku zásadním způsobem ovlivnila pokles cen fotovoltaických modulů, ze kterých se současné moduly skládají. Úvodní část procesu je velmi podobná, tedy výroba křemíkového krystalu, takže za snížení cen fotovoltaiky vděčíme také pokroku ve výrobě mikroprocesorů, které část výrobní technologie sdílejí.<sup>50</sup> Od roku 1975 došlo ke snížení ceny moduly 1000násobně, přičemž účinnost se zvedla téměř 4násobně.

GRAF 3: VÝVOJ CEN ZA FOTOVOLTAICKÉ MODULY<sup>51</sup>



Účinnost definuje množství vyrobené energie při standardní ozáření 1 000 W/m<sup>2</sup> (Standard Test Conditions – STC). Pokud mám tedy modul s účinností 21,5 %, znamená to, že získám z 1 m<sup>2</sup> nejméně 215 W. Pro ČR je obvykle kalkulováno s 1 000 hodinami

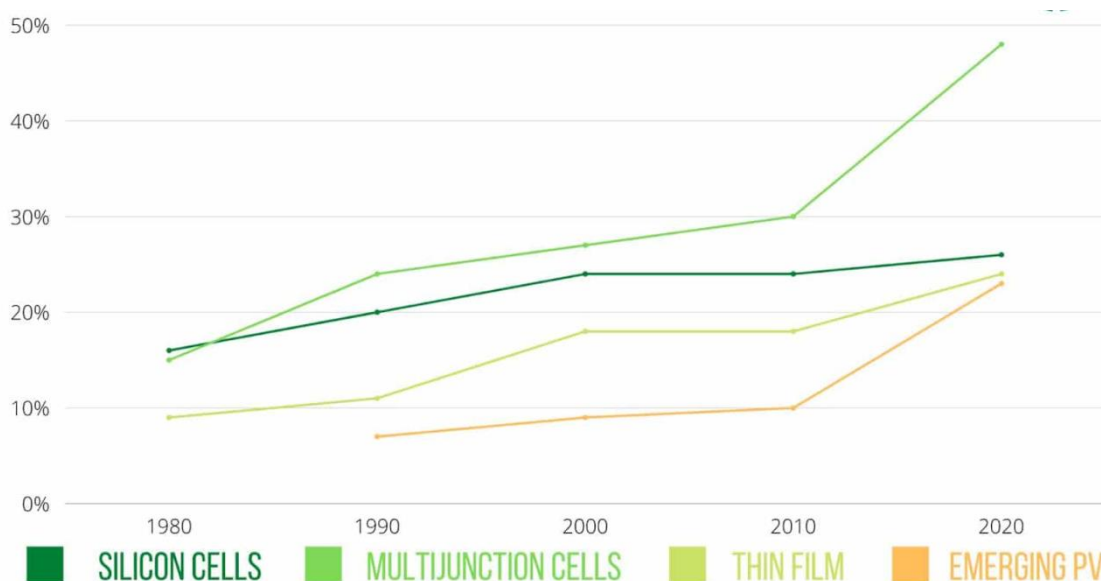
<sup>49</sup> BECHNÍK, PH.D., Ing. Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. Online. *TZB-info*. 2014. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>. [cit. 2024-03-28].

<sup>50</sup> PUTNEY, Z. C. Cast Semicrystalline Silicon for Solar Cells. Online. 2015, s. 5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1115/79-SOL-16>. [cit. 2024-03-31].

<sup>51</sup> *Solar (photovoltaic) panel prices*. Online. OurWorld in Data. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>. [cit. 2024-03-28].

slunečního svitu ročně, takže roční produkce 215 kWh/m<sup>2</sup>. Od prvních prototypových modulů s účinností kolem 6 % se dnes v běžné produkci pohybujeme i přes 22 %.<sup>52</sup>

GRAF 4: EFEKTIVITA SOLÁRNÍCH MODULŮ PODLE TYPU<sup>53</sup>



## 2.2 Základy fotovoltaické technologie

Princip fungování fotovoltaiky je založen na schopnosti fotovoltaických článků přeměnit sluneční světlo (fotony) na elektrickou energii (elektrony) prostřednictvím fotovoltaického jevu.

### 2.2.1 Principy fungování

Když fotony slunečního světla dopadnou na fotovoltaický článek, jsou absorbovány materiálem, obvykle křemíkem, který tvoří základ článku. Absorpce fotonů s dostatečnou energií vede k uvolnění elektronů z jejich atomových vazeb, čímž se vytvářejí volné elektrony a díry (místa, kde elektron chybí). Volné elektrony a díry jsou rychle odděleny elektrickým polem, které je vytvořeno v polovodiči díky jeho uspořádání, například PN přechod. PN přechod ve fotovoltaice je základní stavební prvek solárních článků, kde se setkávají dvě odlišně dopované oblasti polovodiče: typu P (s přebytkem děr) a typu N (s přebytkem elektronů).

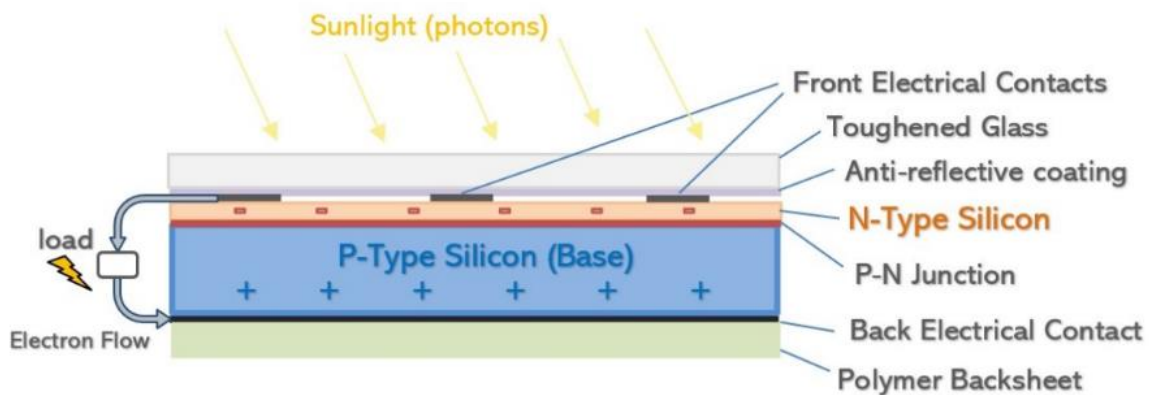
Oddělené elektrony jsou přivedeny do externího obvodu přes kovové kontakty na přední a zadní straně fotovoltaického článku, čímž vzniká elektrický proud. Elektrický proud pak

<sup>52</sup> CHVALEK, Roman; MOLDRIK, Petr a PROCHAZKA, Ondrej. Production of electric power using photovoltaic systems in the Czech Republic. Online. 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering. 2011, s. 1-4. ISBN 978-1-4244-8779-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2011.5874746>. [cit. 2024-03-31].

<sup>53</sup> NEUMEISTER, Karsten, SMITH, Melissa (ed.). What Are the Most Efficient Solar Panels? Online. EcoWatch. 2024. Dostupné z: <https://www.ecowatch.com/solar/most-efficient-solar-panels>. [cit. 2024-03-28].

může být použit k napájení elektrických zařízení nebo uložen do baterií pro pozdější použití.<sup>54</sup>

OBRÁZEK 19: ZNÁZORNĚNÍ PN PŘECHODU NA KŘEMÍKOVÉM SOLÁRNÍM ČLÁNKU<sup>55</sup>



## 2.2.2 Používané materiály

Pro většinu fotovoltaických modulů se používá hliníkový rám pro jeho odolnost proti korozi a nízkou hmotnost, vyjma flexibilních a bezrámových modulů.

Pro krytí modulu se obvykle používá tvrzené sklo s nízkým obsahem železa pro maximální propustnost světla a odolnost proti povětrnostním vlivům. U bifaciálních modulů je sklo i na zadní straně modulu. Sklo je možné také opatřit dodatečnou antireflexní vrstvou, například na bázi oxidu titanu ( $\text{TiO}_2$ ).

EVA (ethylenvinylacetát) nebo PVB (polyvinyl butyral) jsou nejčastěji používanými materiály pro zapouzdření fotovoltaických článků mezi ochranným sklem a zadní vrstvou. Chrání články před vnějšími vlivy a zajišťuje dlouhodobou stabilitu výkonu.

Základním materiálem je dnes monokrystalický křemík, ale ještě je stále možné setkat se s tenkovrstvými technologiemi na bázi kadmium-telluridu (CdTe), nebo měď-indium-galium-diselenidu (CIGS). Také dochází k rozvoji perovskitů, které za svou krátkou historii dosáhly již prakticky na obdobnou úroveň účinnosti jako monokrystalický křemík (bohužel stále nejsou vyřešeny ostatní problémy této technologie, jako například jejich stabilita). V brzké budoucnosti může dojít k rozvoji také fotovoltaických článků na organické bázi.

Pro ochranu zadní strany modulu se používá nejčastěji krycí vrstva na bázi fluoropolymerů, která je obvykle složená ze 3 vrstev: polyvinylfluorid (PVF), polyethylen-tereftalát (PET) nebo polyamid (vrstva je známá pod obchodním označením tedlar nebo kynar). Tyto materiály chrání modul před vlhkostí (EVA je hygroskopická) a mechanickým poškozením ze zadní strany. Nepoužívá se u bifaciálních modulů.

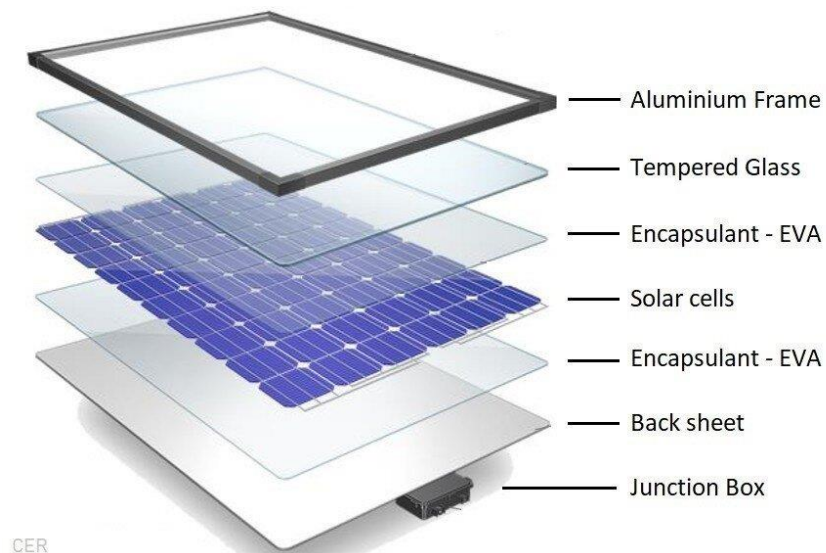
<sup>54</sup> MARSH, Jacob. How do solar cells work? Photovoltaic cells explained. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-photovoltaic-cells/>. [cit. 2024-03-30].

<sup>55</sup> SVARC, Jason. Solar Panel Construction. Online. *Clean Energy Reviews*. 2022. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>. [cit. 2024-03-31].

Fotovoltaické moduly dále obsahují měď (vodiče, pásy) nebo hliník (vrstvy), které slouží pro vedení elektrického proudu z modulu do invertoru a dalších součástí systému.<sup>56</sup>

Každý z těchto materiálů hraje klíčovou roli v konstrukci a funkci fotovoltaického modulu, přičemž společně zajišťují efektivní přeměnu sluneční energie na elektrickou energii, ochranu před vnějšími vlivy a dlouhodobou odolnost systému.

OBRÁZEK 20: 6 HLAVNÍCH KOMPONENT POUŽÍVANÝCH PŘI VÝROBĚ SOLÁRNÍHO MODULU<sup>57</sup>



## 2.3 Typy fotovoltaických modulů

### 2.3.1 Monokrystalické solární moduly

Monokrystalické solární moduly jsou vyrobeny z jediného, kontinuálně taženého krystalu křemíku, což jim umožňuje vysokou efektivitu přeměny sluneční energie na elektrickou energii. Tento materiál se vyznačuje nepřerušovanou krystalickou mřížkou, což umožňuje efektivní pohyb elektronů a má klíčovou roli ve vývoji technologií založených na křemíku. Pro výrobu monokrystalického křemíku se nejčastěji používá metoda Czochralského, která umožňuje růst jednotlivých křemíkových krystalů do délky až několika metrů.

Díky jejich vysoké čistotě křemíku mají tyto moduly nejvyšší účinnost mezi běžnými typy solárních modulů, obvykle mezi 15–23 %. Monokrystalické moduly jsou také odolnější proti vysokým teplotám a mají delší životnost. Na druhou stranu, výroba těchto modulů je energeticky náročnější a dražší kvůli složitějšímu výrobnímu procesu, ale ceny se daří snižovat díky efektivnější technologii řezání na tenčí destičky. Monokrystalické moduly dále můžeme rozdělit podle výrobní technologie na standardní monokrystalické solární moduly BSF, PERC monokrystalické solární moduly, bifaciální monokrystalické solární

<sup>56</sup> SVARC, Jason. Solar Panel Construction. Online. *Clean Energy Reviews*. 2022. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>. [cit. 2024-03-31].

<sup>57</sup> SVARC, Jason. Solar Panel Construction. Online. *Clean Energy Reviews*. 2022. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>. [cit. 2024-03-31].

moduly, n-type TOPCon moduly, HJT (Heterojunction Technology) moduly či MWT (Metal WrapThrough) moduly.<sup>58</sup>

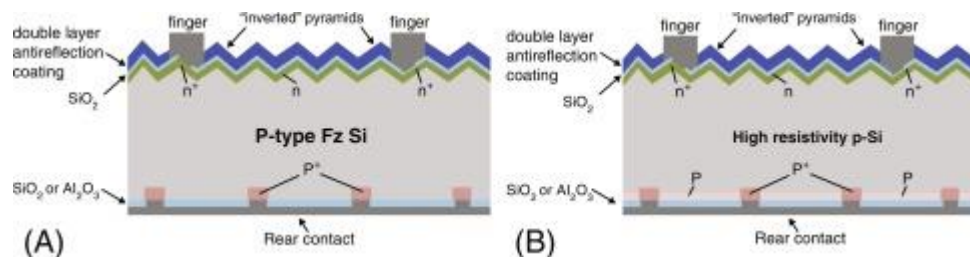
OBRÁZEK: 21 PROCES VÝROBY FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU<sup>59</sup>



**Standardní monokrystalické solární moduly typu BSF** jsou nejtradičnějším typem monokrystalických modulů. Dnes už se prakticky nevyrábí.

**PERC (Passivated Emitter and Rear Cell)** monokrystalické solární moduly využívají pokročilou technologii, která zlepšuje účinnost modulu tím, že snižuje rekombinaci uvnitř materiálu.<sup>60</sup>

OBRÁZEK 22: SCHÉMA ČLÁNKU TYPU PERC<sup>61</sup>



**Bifaciální monokrystalické solární moduly** mohou absorbovat světlo z obou stran, což zvyšuje jejich celkovou produkci energie. Tyto moduly obvykle používají transparentní zadní vrstvu, která umožňuje slunečnímu světlu dosáhnout zadní strany článku. Hodí se pro instalace, kde může být světlo odraženo zpět na modul, například na bílých střeších nebo blízko reflexních povrchů.<sup>62</sup>

<sup>58</sup> YANDI, W; PURIZA, M Y a JUMAIDA, K. Comparative study of electrical energy conversion on monocrystalline and polycrystalline solar panel types in fixed position with various weather conditions in mountain area. Online. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, roč. 926, č. 1. ISSN 1755-1307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/012053>. [cit. 2024-04-03].

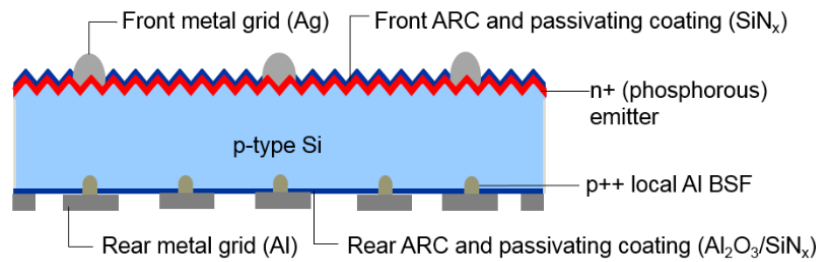
<sup>59</sup> SVARC, Jason. Solar Panel Construction. Online. *Clean Energy Reviews*. 2022. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>. [cit. 2024-03-31].

<sup>60</sup> MARSH, Jacob. PERC solar cells: What you need to know. Online. *EnergySage*. 2018. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-photovoltaic-cells/perc-solar-cells-overview/>. [cit. 2024-04-04].

<sup>61</sup> SATPATHY, Rabindra a PAMURU, Venkateswarlu. Manufacturing of crystalline silicon solar PV modules. Online. *Solar PV Power*. 2021, s. 135-241. ISBN 9780128176269. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817626-9.00005-8>. [cit. 2024-04-03].

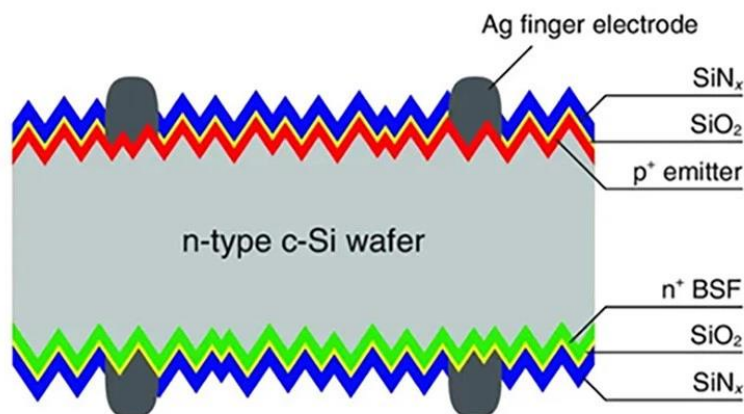
<sup>62</sup> LASSEN, Thomas. What Are Bifacial Solar Panels – A Complete Guide. Online. *SustainableWave*. 2023. Dostupné z: <https://sustainablewave.com/what-are-bifacial-solar-panels/>. [cit. 2024-04-04].

OBRÁZEK 23: SCHÉMA BIFACIÁLNÍHO ČLÁNKU<sup>63</sup>



**TOPCon**, což znamená Tunnel Oxide Passivated Contact, je technologie využívající n-typový křemík jako základní materiál pro solární články. Tato technologie zahrnuje vytvoření tenké vrstvy oxidu mezi křemíkovým substrátem a kontaktní vrstvou, jenž vede k lepšímu sběru náboje a snížení rekombinace na povrchu článku. TOPCon články nabízejí vysokou účinnost díky lepšímu sběru náboje a nižším ztrátám. Jsou také méně citlivé na degradaci světlem než p-typové články. Své využití najdou především pro vysokoúčinné solární aplikace.<sup>64</sup>

OBRÁZEK 24: SCHÉMA ČLÁNKU TYPU TOPCON<sup>65</sup>



**HJT (Heterojunction Technology)**, kombinuje výhody amorfního křemíku a krystalického křemíku v jednom solárním článku. Tato technologie využívá tenké vrstvy amorfního křemíku na obou stranách krystalického křemíkového waferu, což vede k vytvoření heteropřechodu. HJT solární články nabízejí vynikající účinnost díky nízkým rekombinacím na rozhraní a vysoké kvalitě povrchu. Mají také výborné vlastnosti při nízkém osvětlení a vyšší teplotní koeficient než tradiční solární články. Tyto moduly jsou vhodné pro aplikace, kde je prioritou vysoká účinnost a výkon, včetně rezidenčních, komerčních a průmyslových solárních instalací.<sup>66</sup>

<sup>63</sup> KOPECEK, Radovan a LIBAL, Joris. Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges. Online. *Energies*. 2021, roč. 14, č. 8. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en14082076>. [cit. 2024-04-03].

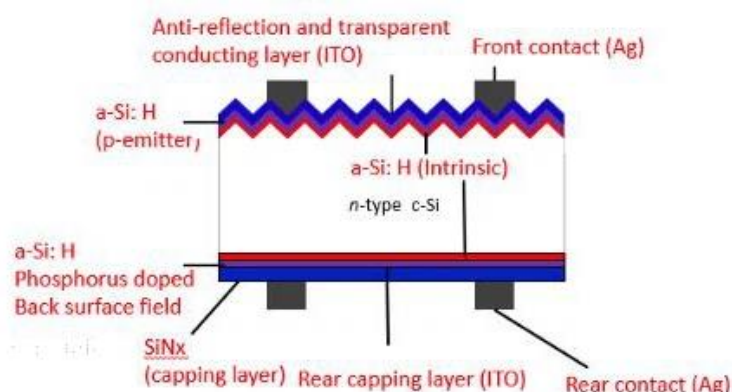
<sup>64</sup> Why TOPCon is leading the n-type market breakthrough. Online. *Pv magazine*. 2021. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/webinars/comparing-the-leading-n-type-cell-technologies/>. [cit. 2024-04-04].

<sup>65</sup> Průvodce solárními články TOPCon. Online. *DS Nová energie*. 2023. Dostupné z: <https://cz.dsnsolar.com/info/guide-to-topcon-solar-cells-89251307.html>. [cit. 2024-04-03].

<sup>66</sup> Heterojunction Solar Panels: How They Work & Benefits. Online. *Solar Magazine*. 2022. Dostupné z: <https://solarmagazine.com/solar-panels/heterojunction-solar-panels/>. [cit. 2024-04-04].



OBRÁZEK 25: SCHÉMA ČLÁNKU TYPU HJT<sup>67</sup>

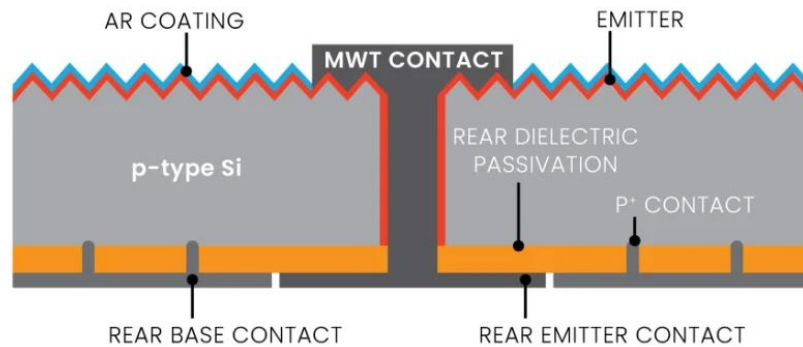


**MWT (Metal Wrap Through)** je pokročilá technologie výroby solárních článků, která umožňuje zlepšení účinnosti a snížení elektrických ztrát. Tato technologie se zaměřuje na optimalizaci sběru a vedení elektrického proudu tím, že umožňuje elektrickým kontaktům (obvykle kovovým) procházet skrz křemíkový wafer z přední na zadní stranu článku. Díky tomu je možné minimalizovat množství stínění na čelní straně článku a zvýšit tak jeho expozici slunečnímu záření. Je také možné takový modul vyrobit jako flexibilní se zvýšenou odolností. Snížením stínění na čelní straně článku a optimalizací sběru světla dochází ke zvýšení účinnosti celého solárního modulu. Díky přímému vedení elektrických kontaktů skrz wafer se snižují odporové ztráty, což přispívá k lepšímu výkonu modulu. MWT technologie umožňuje vytvářet moduly s méně viditelnými elektrickými vodiči na čelní straně, což může být preferováno v některých aplikacích z estetických důvodů. Zároveň je MWT technologie vhodná pro širokou škálu aplikací, od rezidenčních instalací, právě z důvodu důležitosti estetického vzhledu, až po komerční a průmyslové projekty, kde je prioritou maximální výkon a účinnost solárních modulů. Díky svým vlastnostem najde uplatnění v situacích, kde je potřeba dosáhnout vysoké účinnosti při zachování estetického vzhledu solárního systému.<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Silikonový solární článek Heterojunction Technology (HJT). Online. *DS New Energy*. 2020. Dostupné z: <https://cz.dsnsolar.com/info/heterojunction-technology-hjt-silicon-solar-50513228.html>. [cit. 2024-04-03].

<sup>68</sup> HENDRICHS, M.; THAIDIGSMANN, B.; FELLMETH, T.; NOLD, S.; HERRMANN, P. et al. COST-OPTIMIZED METALLIZATION LAYOUT FOR METAL WRAP THROUGH (MWT) SOLAR CELLS AND MODULES. Online. In: . Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2013. Dostupné z: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/6b0d5db8-3f7c-4821-a273-fb95f18e6541/content>. [cit. 2024-03-31].

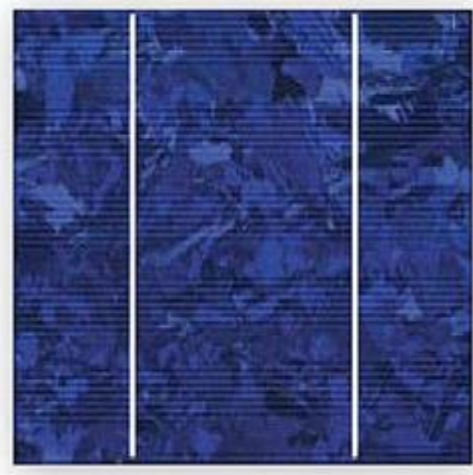
OBRÁZEK 26: MWT SOLÁRNÍ ČLÁNEK<sup>69</sup>



### 2.3.2 Polykrystalické solární moduly

Polykrystalické solární moduly, známé také jako multikrystalické, jsou vyrobeny z křemíkových krystalů, které vznikly během řízeného tuhnutí bloku z taveniny. Tato metoda výroby je méně náročná a vede k nižším výrobním nákladům ve srovnání s monokrystalickými moduly. Efektivita polykrystalických modulů je obvykle nižší. Od této technologie se postupně ustupuje.<sup>70</sup>

OBRÁZEK 27: POLYKRystalický MODUL<sup>71</sup>



<sup>69</sup> ROOIJ, Dricus De. MWT Solar Cells. Online. *Sinovoltaics*. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/mwt-solar-cells/>. [cit. 2024-03-31].

<sup>70</sup> MESQUITA, Daniel de B.; LUCAS DE S. SILVA, Joao; MOREIRA, Hugo S.; KITAYAMA, Michelle a VILLALVA, Marcelo G. A review and analysis of technologies applied in PV modules. Online. 2019 *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*. 2019, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-9567-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2019.8895369>. [cit. 2024-03-31].

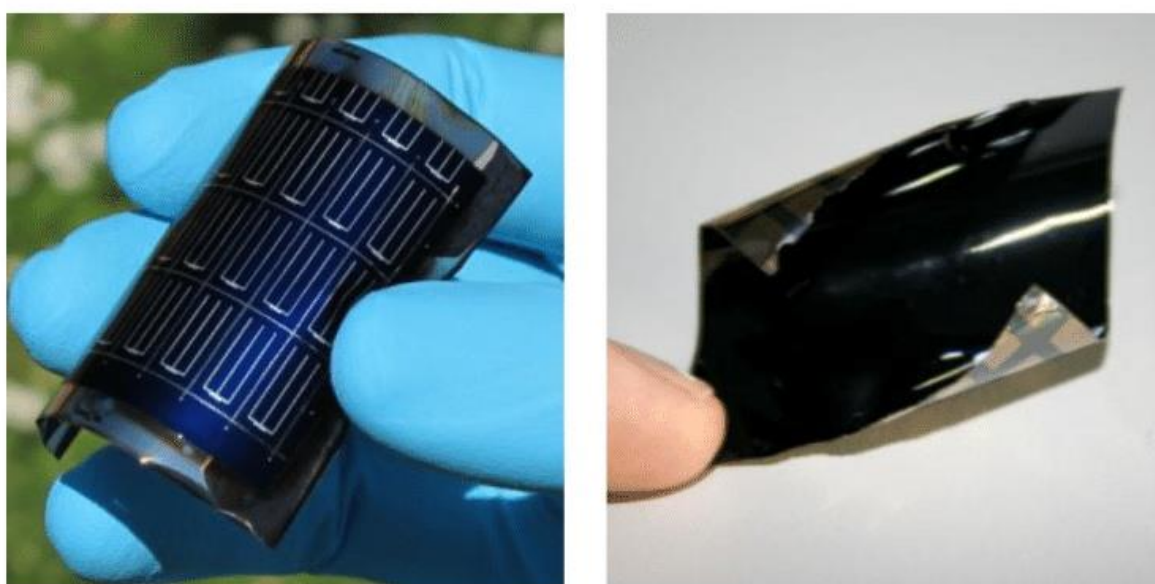
<sup>71</sup> MESQUITA, Daniel de B.; LUCAS DE S. SILVA, Joao; MOREIRA, Hugo S.; KITAYAMA, Michelle a VILLALVA, Marcelo G. A review and analysis of technologies applied in PV modules. Online. 2019 *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*. 2019, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-9567-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2019.8895369>. [cit. 2024-04-03].

### 2.3.3 Tenkovrstvé solární moduly

Tenkovrstvé solární moduly se od svých krystalických protějšků liší tím, že jsou vyrobeny depozicí fotovoltaického materiálu na substrát. Existuje několik typů tenkovrstvých technologií, včetně kadmium-telluridu (CdTe), mědi-indium-galium-diselenidu (CIGS) a amorfního křemíku (a-Si). Tyto moduly jsou o něco levnější na výrobu a účinnost se obvykle pohybuje mezi 7–22 %. Jejich výhodou spočívá ve flexibilitě pro různé aplikace. Jsou také méně citlivé na teplotu a mohou lépe fungovat v difuzním světle.

Kadmium-telluridové (CdTe) fotovoltaické články patří mezi nejrozšířenější a nejefektivnější tenkovrstvé solární technologie. Jejich nejvyšší zaznamenaná laboratorní účinnost dosahuje přibližně 22,1 %.<sup>72</sup>

OBRÁZEK 28: PROTOTYP OHEBNÉHO SAMOLEPÍCÍHO CdTe MODULU<sup>73</sup>



### 2.3.4 Inovační a budoucí technologie

Pokrok ve fotovoltaických technologiích slibuje revoluci v efektivitě a aplikacích solární energie. Jednou z předních inovací jsou perovskitové solární články, které nabízejí vyšší účinnost a nižší výrobní náklady než tradiční křemíkové moduly, a otevírají dveře k vývoji flexibilních a lehkých solárních modulů. Tandemové solární články kombinují různé fotovoltaické materiály pro zvýšení celkové účinnosti, zatímco inovace jako solární střešní tašky a integrace fotovoltaických technologií do stavebních materiálů slibují esteticky přijatelné a energeticky efektivní řešení pro budovy. S pokračujícím vývojem a integrací

<sup>72</sup> Thin-Film Solar Panels. Online. *American Solar Energy Society*. 2021. Dostupné z: <https://ases.org/thin-film-solar-panels/>. [cit. 2024-04-03].

<sup>73</sup> JELLE, Bjørn Petter; NG, Serina; GAO, Tao; MOFID, Sohrab Alex a KOLÅS, Tore. A Review of Materials Science Research Pathways and Opportunities for Building Integrated Photovoltaics. Online. *Journal of Energy Challenges and Mechanics*. 2016, č. Volume 3 (2016) 2. ISSN 2056-9386. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/320555414\\_A\\_Review\\_of\\_Materials\\_Science\\_Research\\_Pathways\\_and\\_Opportunities\\_for\\_Building\\_Integrated\\_Photovoltaics](https://www.researchgate.net/publication/320555414_A_Review_of_Materials_Science_Research_Pathways_and_Opportunities_for_Building_Integrated_Photovoltaics). [cit. 2024-04-03].

umělé inteligence a automatizace pro lepší správu a údržbu solárních systémů se otevírá nová éra pro využití solární energie, která by mohla zásadně změnit energetický sektor.

**Perovskitové solární články** jsou v čele inovací v oblasti fotovoltaických technologií, a to díky své schopnosti efektivně přeměňovat sluneční záření na elektrickou energii. Tento typ solárního článku využívá perovskitové materiály, které jsou známé svou unikátní krystalovou strukturou. Tato struktura umožňuje materiálům absorbovat široké spektrum světelného záření, což zvyšuje jejich celkovou účinnost přeměny. Jednou z klíčových výhod perovskitových solárních článků je jejich potenciál pro dosažení vysoké účinnosti při relativně nízkých výrobních nákladech ve srovnání s tradičními fotovoltaickými technologiemi, jako jsou křemíkové solární moduly.

Perovskitové solární články nabízejí nadějný výhled pro budoucí energetické systémy díky své adaptabilitě a efektivitě. Tyto články mohou být vyrobeny s použitím různých metod tisku, což umožňuje integraci do různých povrchů a materiálů, včetně flexibilních substrátů. Díky tomu jsou perovskity vhodné pro vývoj lehkých a flexibilních solárních modulů, které se mohou snadno přizpůsobit různým aplikacím a povrchům, od stavebních fasád až po oděvy. V současné době perovskitové solární články dosahují rekordních účinností přesahujících 25,7 %, což je srovnatelné nebo dokonce lepší než mnohé tradiční solární technologie.

Výzkum v oblasti perovskitových solárních článků se nyní zaměřuje na překonání některých výzev, zejména na prodloužení jejich životnosti. Ačkoliv současné verze mají tendenci vykazovat kratší životnost v měsících, probíhá intenzivní výzkum s cílem zlepšit stabilitu a odolnost těchto materiálů, aby bylo možné dosáhnout životnosti v desítkách let. Vedle toho se vědci snaží o další snížení výrobních nákladů a zvýšení efektivity přeměny energie. Perspektiva dosažení účinnosti přesahující 30 % je stále reálná, což naznačuje, že perovskitové solární články by mohly hrát klíčovou roli v budoucím energetickém mixu.<sup>74</sup>

**Tandemové fotovoltaické články** představují pokročilou technologii v oblasti solární energetiky, která se snaží překonat tradiční limity účinnosti jednovrstvých solárních článků. Tato technologie využívá dvě nebo více vrstev fotovoltaických materiálů s různými spektrálními citlivostmi, aby lépe využila široké spektrum slunečního záření. Tím se zvyšuje celková účinnost přeměny sluneční energie na elektrickou energii. Tyto články obvykle kombinují dva nebo více typů fotovoltaických materiálů, které jsou schopné absorbovat různé části slunečního spektra. Například mohou kombinovat křemíkové články s materiály, jako jsou perovskity nebo III-V polovodičové sloučeniny (například gallium arsenid). Každá vrstva je optimalizována pro absorpci různých vlnových délek světla, což umožňuje lepší využití slunečního záření a vede k vyšší celkové účinnosti přeměny energie. Články tedy mohou teoreticky dosáhnout vyšších účinností než tradiční jednopřechodové solární články, to znamená, že mohou produkovat více elektrické energie z téže plochy. Technologie tandemových článků je stále ve vývoji, což znamená, že existuje významný potenciál pro další zlepšení účinnosti a snížení nákladů. Uplatnění si ale najde v různých aplikacích, od rezidenčních a komerčních solárních

---

<sup>74</sup> CHEN, Qianyu. The King of the New Generation Photovoltaic Technologies — — Perovskite Solar Cells & the Opportunities and Challenges. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, roč. 926, č. 1. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/926/1/012010>. [cit. 2024-04-04].

instalací po vysokovýkonné aplikace, jako jsou satelity a další vesmírné technologie, kde je maximální účinnost klíčová.<sup>75</sup>

**Organické solární články** využívají organické materiály pro přeměnu světla na elektrickou energii. I když jejich efektivita je aktuálně nižší ve srovnání s anorganickými fotovoltaickými technologiemi, nabízejí výhody, jako jsou nízké výrobní náklady, flexibilita a potenciál pro transparentní solární moduly. Tyto články využívají organické molekuly nebo polymery k přeměně slunečního světla na elektrickou energii. Díky svým unikátním vlastnostem a výhodám se organické solární články stávají předmětem intenzivního výzkumu a vývoje. Mohou být vyrobeny na flexibilních substrátech, což umožňuje vytvářet ohebné solární moduly, které lze aplikovat na různé povrchy přenosných zařízení a zakřivených struktur, včetně oblečení. Svým designem mohou být průhledné nebo nabízet různé barvy, což je činí atraktivními pro architektonické aplikace, jako jsou solární okna nebo fasády budov. Výroba často vyžaduje nižší teploty než výroba anorganických solárních článků, což může vést k nižším výrobním nákladům. Jejich účinnost je obvykle nižší ve srovnání s anorganickými články, to znamená, že přeměňují menší procento slunečního světla na elektrickou energii. Organické materiály jsou obecně méně stabilní než anorganické, což může vést k rychlejší degradaci článků a kratší celkové životnosti. Ačkoliv byl v posledních letech dosažen významný pokrok, stále probíhá intenzivní výzkum zaměřený na zlepšení účinnosti, stability a životnosti.<sup>76</sup>

## 2.4 Účinnost

Účinnost fotovoltaických (PV) modulů je klíčovým aspektem, který určuje množství elektrické energie generované z dostupného slunečního záření. Existuje několik faktorů, které mohou ovlivnit výkonnost a efektivitu těchto systémů.

### 2.4.1 Teplota

S rostoucí teplotou dochází k postupnému snižování účinnosti fotovoltaických modulů, což má za následek snížení vyráběného množství elektrické energie i při vyšším osvětlení. Tento pokles v účinnosti je sice významný, ale není ekonomické moduly chladit, a navíc teplota obvykle koreluje i se špičkou výroby, tedy s obdobím, kdy je elektrické energie dostatek.

Pro každý typ fotovoltaického modulu lze definovat optimální pracovní teplotu, přičemž překročení této kritické hodnoty teploty může vést k významnému poklesu výkonu. Různé materiály a technologie používané ve fotovoltaických modulech mají různé optimální teplotní rozsahy, a proto je důležité, aby byla teplota modulů udržována v těchto optimálních hodnotách pro zachování maximální účinnosti. Při projektování a instalaci fotovoltaických systémů je proto nezbytné zohlednit místní klimatické podmínky a případně použít chladicí systémy nebo speciální konstrukční prvky, které

---

<sup>75</sup> SHARMA, Divya; MEHRA, Rajesh a RAJ, Balwinder. Design and Analysis of Various Solar Cell Technologies for Improvements in Efficiencies: A Review. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-469458/v1>. [cit. 2024-04-04]

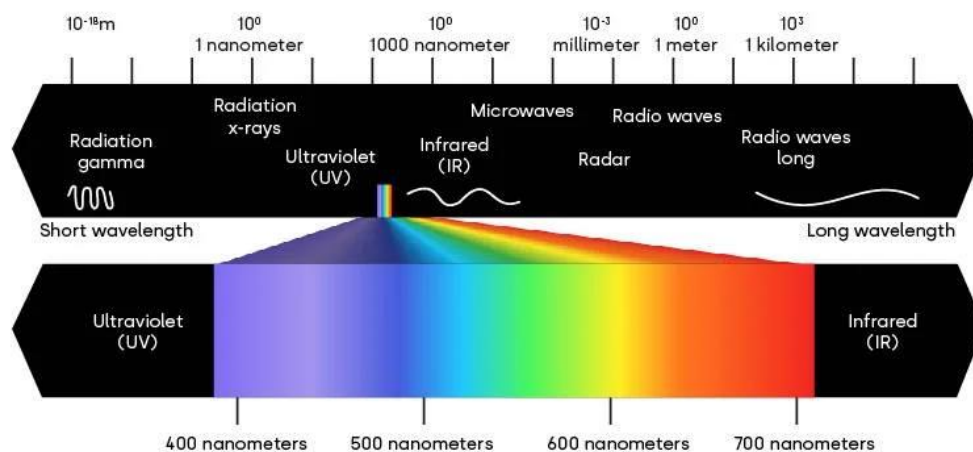
<sup>76</sup> ZHANG, Yuliang Matthew; IZQUIERDO, Ricardo a XIAO, Shuyong Steven. Printing of Flexible, Large-Area Organic Photovoltaic Cells. Online. *2018 International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC)*. 2018, s. 1-3. ISBN 978-1-5386-3357-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IFETC.2018.8583947>. [cit. 2024-04-04].

pomohou regulovat teplotu modulů a zajistit tak jejich co nejvyšší výkon i v podmínkách s vysokými teplotami.<sup>77</sup>

## 2.4.2 Ozáření

Intenzita slunečního záření – ozáření (nebo také osvit) – má přímý vliv na množství energie, kterou fotovoltaické moduly mohou vyrobit. Vyšší ozáření znamená vyšší výkon. Výkonnost modulů se však může lišit v závislosti na spektrálním složení světla, přičemž některé typy modulů mohou být citlivější na určité vlnové délky. Různé typy solárních článků mají různou citlivost na různé části slunečního spektra.<sup>78</sup>

OBRÁZEK 29: VLNOVÉ DÉLKY SVĚTELNÉHO SPEKTRA<sup>79</sup>



## 2.4.3 Orientace

Optimální orientace fotovoltaických modulů, obvykle směřující na jih na severní polokouli a na sever na jižní polokouli, a jejich pečlivě nastavený úhel vůči horizontu jsou klíčové faktory pro maximalizaci výkonu solárních systémů. Tato zásada využívá maximální možné množství slunečního záření během dne, zajišťuje, že moduly absorbují co nejvíce světla, a tím zvyšuje celkovou efektivitu přeměny solární energie na elektrickou energii.

Pro specifické aplikace, zejména u bifaciálních modulů, které jsou schopné absorbovat sluneční záření z obou stran, může být vhodnější instalace ve směru východ-západ. Toto uspořádání umožňuje modulům zachytávat ranní světlo na jedné straně a večerní světlo na straně druhé, což může prodloužit dobu výroby elektrické energie během dne a lépe rozvrhnout výrobní kapacitu systému. Tento přístup je obzvláště užitečný v oblastech

<sup>77</sup> PREET, Sajan. A review on the outlook of thermal management of photovoltaic panel using phase change material. Online. *Energy and Climate Change*. 2021, roč. 2. ISSN 26662787. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2021.100033>. [cit. 2024-03-31].

<sup>78</sup> PUTRI, Novia Utami; PRANITA, Elka; SEMBIRING, Jaka Persada; JAYADI, Akhmad; ARYANTO, Aryanto et al. The Effect of Solar Radiation on Solar Panels in Aeroponic Plant Systems. Online. 2023 *International Conference on Networking, Electrical Engineering, Computer Science, and Technology (IConNECT)*. 2023, s. 121-126. ISBN 979-8-3503-3117-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IConNECT56593.2023.10327307>. [cit. 2024-04-04].

<sup>79</sup> Spektrum viditelného světla, vlnová délka světla. Online. *Lena Lighting*. Dostupné z: <https://lenalighting.cz/spolecnost/znalostni-baze/2559-spektrum-viditelneho-svetla-vlnova-delka-svetla>. [cit. 2024-04-04].

s vyšším podílem rozptýleného slunečního záření a může pomoci vyrovnávat výkon systému po celý den, čímž se zlepšuje jeho celková efektivnost a spolehlivost.

#### **2.4.4 Stínění**

Stíny od stromů, budov, nebo jiných překážek mohou mít výrazný negativní dopad na výkon solárního modulu. Zastíněné moduly nejenže neprodukují elektrickou energii, ale v důsledku svého zapojení do celého systému mohou dokonce spotřebovávat elektřinu generovanou světelně nezastíněnými částmi systému. Tento paradoxní efekt způsobuje, že stínění je jedním z klíčových faktorů, které je třeba při plánování a instalaci solárních modulů pečlivě zvážit.

Optimalizace umístění solárních modulů s ohledem na potenciální stíny je proto nezbytná pro maximalizaci jejich výkonu. Jedním z řešení, jak minimalizovat negativní vliv stínění, je použití takzvaných optimizérů. Tato zařízení jsou navržena tak, aby optimalizovala výkon každého solárního modulu individuálně, čímž se snižuje dopad stínění na celkovou efektivitu systému. Optimizéry jsou obzvláště užitečné v aplikacích, jako je agrolesnická fotovoltaika, kde může dojít k nežádoucímu stínění v důsledku přítomnosti stromů a jiné vegetace. Stejně tak jsou užitečné na střešních instalacích, kde budovy, komíny nebo vysoké stromy v okolí mohou vrhat stíny na solární moduly.

Při plánování agrovoltaických instalací je také důležité snažit se předcházet jakémukoli zastínění solárních modulů. To zahrnuje strategické rozmístění modulů, aby se minimalizovala pravděpodobnost stínění během dne. Toto úsilí může být klíčové pro optimalizaci výroby elektrické energie ze solárních modulů a pro zajištění co nejvyšší účinnosti a produktivity agrovoltaických systémů.<sup>80</sup>

#### **2.4.5 Akumulace nečistot**

Akumulace prachu, pylu, ptačích exkrementů nebo sněhu na povrchu solárních modulů může výrazně snížit jejich schopnost absorbovat sluneční světlo, což přímo ovlivňuje jejich výkon a efektivitu přeměny sluneční energie na energii elektrickou. Tyto nečistoty působí jako fyzická bariéra, která blokuje přístup slunečních paprsků k fotovoltaickým článkům a tím snižuje množství generované elektrické energie.

U vertikálněji orientovaných solárních modulů jsou dopady akumulace nečistot nižší, což je způsobeno přirozenou schopností deště nebo tání sněhu odplavovat nečistoty ze skloněných povrchů. Tato samočisticí schopnost pomáhá udržet moduly v relativně čistém stavu bez potřeby častého manuálního čištění, což je především výhodné v městských nebo průmyslových oblastech, kde může být údržba obtížnější.

Instalace modulů s nízkým sklonem nebo zcela vodorovných potřebují pravidelné čištění. Vzhledem k jejich horizontální poloze nejsou tyto moduly schopny přirozeně se zbavovat nečistot a sněhu tak efektivně jako ty více nakloněné. Akumulace nechtěných materiálů na povrchu modulů může vést k výraznému poklesu výkonu. K tomu, aby se zajistila optimální efektivita a bezpečnost systému, je nezbytná pravidelná údržba a čištění modulů. Toto čištění může být nákladné a časově náročné, ale je nezbytné pro udržení vysoké účinnosti fotovoltaických systémů a maximalizaci jejich výrobního potenciálu.

---

<sup>80</sup> WOON, David. Solar Panel Shading: Analysis and Solutions. Online. *Spirit Energy*. 2021. Dostupné z: <https://blog.spiritenergy.co.uk/contractor/solar-panel-shading-analysis>. [cit. 2024-03-31].

V případě zanedbání odstraňování nečistot, hrozí vznik hotspotů, tedy míst, kde se modul zahřívá reverzním procesem fotoelektrického jevu, což může skončit až požárem. V oblastech se silnějším znečištěním a dostupnou sladkou nebo demineralizovanou vodou, mohou být instalovány oplachové trysky nebo robotické čištění.

### **2.4.6 Stárnutí a degradace**

Všechny fotovoltaické systémy jsou během svého provozu vystaveny různým environmentálním faktorům, jako je UV záření, teplotní výkyvy, vlhkost a mechanické namáhání, které postupně vedou ke snižování jejich účinnosti. UV záření může poškodit fotovoltaické buňky a antireflexní povlaky, zatímco teplotní cykly způsobují rozpínání a smršťování materiálů. To může vést k mikroprasklinám a oslabení vazeb mezi jednotlivými komponenty. Přesto moderní fotovoltaické technologie a materiály, které jsou navrženy tak, aby odolávaly těmto vlivům, umožňují systémům dosáhnout významně delší životnosti, často přesahující 30 let.

Jedním z nejlepších příkladů dlouhověkosti fotovoltaických systémů je systém, který byl uveden do provozu již v roce 1982 a stále dodává energii. Tento systém svědčí o mimořádné odolnosti a trvanlivosti fotovoltaických technologií, i když se v průběhu let technologie výrazně vyvíjely a zdokonalovaly. Dlouhodobá funkčnost tohoto systému je důkazem toho, že při správné instalaci, údržbě a výběru kvalitních materiálů mohou fotovoltaické systémy poskytovat spolehlivou a udržitelnou energii po mnoho desetiletí.<sup>81</sup>

Tato dlouhá životnost fotovoltaických systémů má významný pozitivní dopad na návratnost investice, protože systémy mohou generovat elektrickou energii s minimálními provozními náklady po většinu své životnosti. Navíc, pokračující vývoj a zdokonalování materiálů i technologií slibuje ještě větší zvýšení účinnosti a trvanlivosti fotovoltaických systémů v budoucnosti, což přispívá k jejich rostoucí popularitě jako klíčového zdroje obnovitelné energie.

### **2.4.7 Úhel dopadu světla**

Úhel, pod kterým sluneční záření dopadá na fotovoltaické moduly, ovlivňuje množství absorbovaného světla a tím i výrobu elektrické energie. Ideální je, když světlo dopadá na modul kolmo. Nízké úhly dopadu snižují efektivitu celého systému, protože může dojít k odrazu světla od povrchu modulu.

## **2.5 Životnost a udržitelnost**

Stejně jako všechny materiály vystavené vnějším podmínkám, i fotovoltaické moduly postupně podléhají procesu degradace. Tento přirozený proces ovlivňuje jejich účinnost, výkon a celkovou životnost. Jedním z hlavních faktorů, který má na degradaci fotovoltaických modulů zásadní vliv, je ultrafialové (UV) záření. Toto záření, jež se přirozeně vyskytuje ve slunečním světle, má dostatečně vysokou energii, aby postupně přeměňovalo a rozkládalo většinu běžných materiálů, včetně těch, ze kterých jsou vyrobeny i fotovoltaické moduly.

---

<sup>81</sup> KOREC, Martin. Fotovoltaická elektrárna instalovaná v roce 1982 stále dodává energii. Online. *EFotovoltaika.cz*. 2022. Dostupné z: <https://www.efotovoltaika.cz/fotovoltaicka-elektrarna-instalovana-v-roce-1982-stale-dodava-energii/>. [cit. 2024-03-29].



UV záření působí na chemické vazby v materiálech fotovoltaických modulů, je tak příčinou postupného oslabení těchto vazeb a následného rozpadu molekulární struktury. Tento proces může způsobit změny v optických a mechanických vlastnostech materiálů, jako je změna barvy, ztráta pružnosti a pevnosti, čímž ovlivňuje schopnost modulů absorbovat sluneční světlo a přeměňovat ho na elektrickou energii.<sup>82</sup>

Kromě UV záření jsou fotovoltaické moduly během svého životního cyklu vystaveny řadě dalších environmentálních stresorů, jako jsou teplotní cykly, vlhkost, kyselá dešť, silný vítr a sníh. Tyto faktory mohou ve spojení s UV zářením urychlit degradaci modulů. Teplotní cykly způsobují rozpínání a smršťování materiálů, a to může vést ke vzniku mikroprasklin a oslabení strukturální integrity modulů. Vlhkost a kyselá dešť mohou zase napadat povrchové ochranné vrstvy a expozice silnému větru nebo sněhu může způsobit mechanické poškození.

V reakci na tyto výzvy výrobci fotovoltaických modulů neustále inovují a zlepšují materiály a technologie používané při výrobě modulů. Využívají se například UV stabilizátory, vysoce odolné antireflexní povrchové úpravy a materiály s vylepšenou odolností proti teplotním cyklům a mechanickému stresu. Díky těmto inovacím je možné výrazně prodloužit životnost fotovoltaických modulů a minimalizovat dopad degradace na jejich výkon, to je tedy klíčové pro zajištění dlouhodobé udržitelnosti a ekonomické efektivity solární energie.

Vzhledem k čím dál tenčím destičkám křemíku, výroba modulů spotřebovává méně vstupního materiálu a energie, takže se stává udržitelnější. Prodlužuje se také mechanická životnost, takže dříve odhadovaná efektivita, kdy se kalkulovalo, že modul za svou životnost vyrobí nejméně 10x více energie, než bylo potřeba na jeho výrobu, se dnes pohybuje na více jak dvojnásobku (energy payback time – EPBT).<sup>83</sup>

Celkově lze říci, že snaha o zmenšování tloušťky křemíkových desek a další inovace ve výrobě fotovoltaických modulů jsou klíčové pro zvyšování jejich udržitelnosti, efektivity a ekonomické návratnosti, což vede k širší adopci solární energie jako klíčové součásti globální energetické transformace.

### **2.5.1 Faktory ovlivňující degradaci modulů**

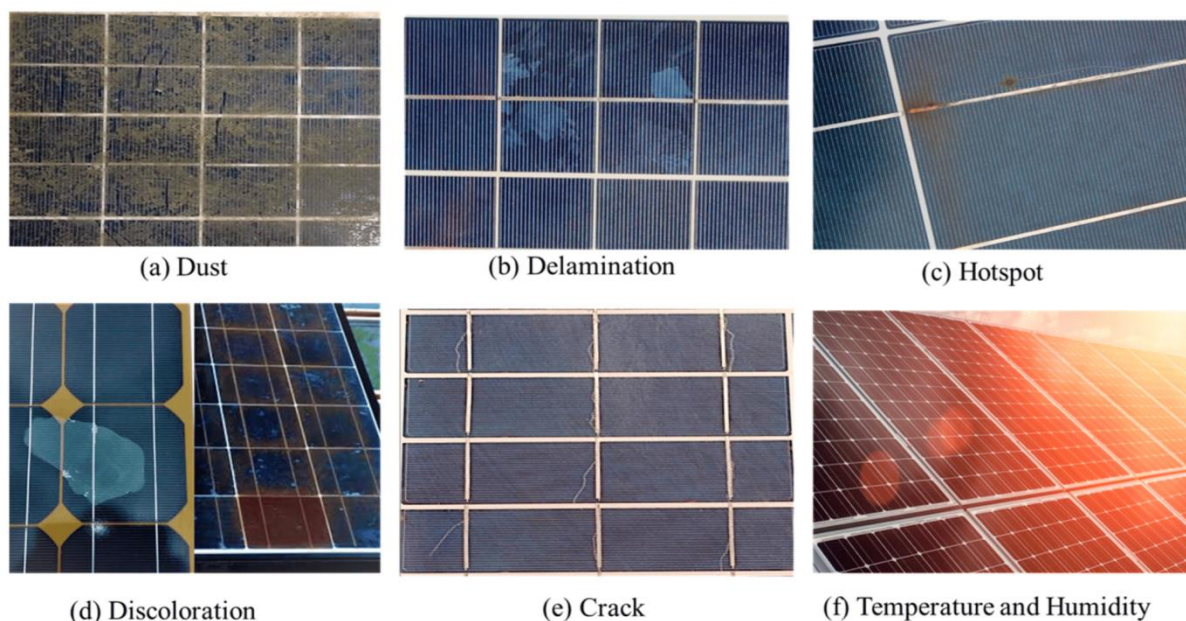
S postupem technologického vývoje se daří prodloužit životnost modulů při zachování nízké výrobní ceny. Zásadními faktory jsou provozní degradace prostřednictvím UV záření, vniknutí vlhkosti a oxidace z důvodu degradace zapouzdřovacích materiálů a mechanické namáhání především sněhem.

---

<sup>82</sup> HUTCHINS, Mark. Role of UV in solar cell degradation. Online. *Pvmagazine*. 2022. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/2022/07/13/role-of-uv-in-solar-cell-degradation/>. [cit. 2024-04-04].

<sup>83</sup> Solar Panel Degradation: What Is It and Why Should You Care? Online. *Solar Magazine*. 2022. Dostupné z: <https://solarmagazine.com/solar-panels/solar-panel-degradation/>. [cit. 2024-04-04].

OBRÁZEK 30: TYPY DEGRADACE FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ<sup>84</sup>



## 2.5.2 Recyklace a management odpadu z fotovoltaických modulů

Hlavní překážkou v recyklaci je prozatím nedostatek nefunkčních fotovoltaických modulů. Naprostá většina jich stále vyrábí elektřinu a životnost jim skončí až v budoucí době, takže je prostor na vybudování dostatečných recyklačních kapacit a procesů pro znovu použití získaných materiálů.

Nakládání s odpadními elektrozařízeními, kam patří právě i fotovoltaické moduly, je v evropském kontextu řešena směrnicí 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních.<sup>85</sup> V České republice pak tuto problematiku upravuje zákon č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností. Jsou zde stanovena zejména pravidla pro uvádění elektrozařízení na trh, pro zpětný odběr elektrozařízení, zpracovávání a opětovné používání, pro financování nakládání s elektrozařízeními a dále pak povinnosti výrobců, posledních prodejců i distributorů. Zároveň zákon ukládá určité povinnosti zpracovatelům odpadních elektrozařízení.<sup>86</sup>

Každý modul má už při svém prodeji zaplacený budoucí náklady na svou recyklaci, takže lze očekávat, že po skončení životnosti (20–40 let) bude modul rozložen a jednotlivé materiály separovány a znovu použity.

## 2.5.3 Udržitelnost materiálů a výrobních procesů

Tavení křemíku je energeticky velmi náročný proces, který produkuje největší část emisí ve spojení s produkcí fotovoltaického modulu. Pomocí efektivnějších technologií řezání

<sup>84</sup> RAHMAN, Tuhibur; MANSUR, Ahmed; HOSSAIN LIPU, Molla; RAHMAN, Md.; ASHIQUE, Rati et al. Investigation of Degradation of Solar Photovoltaics: A Review of Aging Factors, Impacts, and Future Directions toward Sustainable Energy Management. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 9. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16093706>. [cit. 2024-04-04].

<sup>85</sup> Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU: o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). In: . 2012.

<sup>86</sup> ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 542/2020 Sb.: o výrobcích s ukončenou životností. In: . 2020, 223/2020.

monokrystalu do waferů (plátků) se daří emisní stopu výroby modulů snižovat, stejně tak větším podílem obnovitelných zdrojů při jejich výrobě. V hodnocení celého životního cyklu (LCA) se emisní stopa pohybuje v rozmezí přibližně od 20 do 43 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, což je výrazně nižší ve srovnání s fosilními palivy, kde se pohybujeme i nad 1100 gCO<sub>2</sub>eq/kWh. Nízkou emisní stopu (od 10 do 40 gCO<sub>2</sub>eq/kWh) mají také jaderné, větrné a vodní elektrárny. Jedná se o emise spojené s celkovým životním cyklem až do ukončení jeho životnosti formou recyklace.<sup>87</sup>

### 2.5.4 Instalace a integrace do agrovoltaických systémů

Robotizace při výrobě fotovoltaických modulů je dnes již téměř maximální. Pracovníci zajišťují především chod robotizované továrny a do samotného výrobního procesu manuálně již téměř nezasahují. Naopak je tomu zatím u instalace modulů v rámci elektrárny. Vzhledem k rozsahu agrovoltaických instalací je zásadní minimalizace podílu lidské práce a její maximální ulehčení. Klíčem je robotizace instalace a zjednodušení konstrukcí včetně jejich montáže tak, aby vyžadovala co nejmenší zásah lidského pracovníka. V kombinaci s kamerovým viděním a umělou inteligencí lze předpokládat, že ve 30. letech 21. století bude již většina instalací a deinstalací prováděna stroje.

Vzhledem k dočasnosti takové instalace, je třeba dbát na minimalizaci nevratných zásahů do půdy. Kotvení by mělo být především mechanické nebo balastní bez použití betonu.

OBRÁZEK 31: PROTOTYP AUTONOMNÍHO INSTALAČNÍHO STROJE MODULŮ<sup>88</sup>



## 2.6 Výzvy a budoucí směry

Zvýšení účinnosti a snížení nákladů fotovoltaických systémů jsou klíčovými oblastmi současného výzkumu a vývoje. Jednou z hlavních výzev je překonání fyzikálních limitů stávajících fotovoltaických materiálů, jako je křemík, které omezují maximální možnou účinnost solárních článků. Inovace, jako je vývoj nových materiálů s vyššími energetickými výnosy, jako jsou perovskity nebo tandemové solární články, které

<sup>87</sup> Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Online. *National Renewable Energy Laboratory*. 2012. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.nrel.gov%2Fdocs%2Ffy13osti%2F56487.pdf%0AVisible%3A%200%25%20>. [cit. 2024-04-04].

<sup>88</sup> SCULLY, Jules. The PV Review, Q4 2021: Rising prices, policy uncertainty and new product launches. Online. *PV Tech*. 2021. Dostupné z: <https://www.pv-tech.org/the-pv-review-q4-2021-rising-prices-policy-uncertainty-and-new-product-launches/>. [cit. 2024-04-04].

kombinují více vrstev různých materiálů pro lepší využití spektra slunečního záření, nabízejí slibné cesty ke zvýšení efektivity.

### **2.6.1 Technologické výzvy a optimalizace nákladů**

Snižování výrobních nákladů je nezbytné pro zvýšení konkurenceschopnosti solární energie. Vývoj metod, které umožňují použití tenčích vrstev křemíku a jiných materiálů bez kompromisu v odolnosti a životnosti modulů, může významně snížit spotřebu surovin a energie potřebné k výrobě. Zároveň se hledají způsoby, jak zefektivnit výrobní procesy a zlepšit recyklaci použitých modulů, což by dále posunulo fotovoltaiku směrem k udržitelnosti.

Kromě materiálových a výrobních inovací se výzkum zaměřuje také na integraci fotovoltaických systémů do stávající infrastruktury, včetně vývoje stavebních materiálů s integrovanou fotovoltaikou a zlepšení systémů pro správu a skladování energie. Tato kombinace technologických pokroků a inovací otevírá cestu k budoucnosti, ve které bude solární energie ještě více přístupná, efektivnější a ekonomicky výhodná.

### **2.6.2 Výzkum s potenciálem pro agrovoltaické aplikace**

Hlavní technologické výzvy spočívají ve vývoji transparentních nebo částečně transparentních solárních modulů, které propouštějí dostatečné množství slunečního záření pro fotosyntézu, zatímco zároveň vyrábějí elektrickou energii. Dále je důležité zaměřit se na optimalizaci umístění a orientace fotovoltaických modulů, aby bylo dosaženo maximální efektivity výroby energie při současném minimalizování negativního dopadu na zemědělskou produkci.

Inovace v materiálech a technologiích, jako jsou bifaciální nebo flexibilní moduly, budou hrát klíčovou roli v rozvoji agrovoltaických systémů, umožňujících snadnější integraci s různými typy zemědělské infrastruktury. Výzkum se dále zaměřuje na systémové řešení, jako je inteligentní řízení zavlažování a osvětlení, které může zvýšit výnosy plodin a současně optimalizovat spotřebu energie.

Zájem o agrovoltaické systémy roste v důsledku jejich potenciálu zmírnit některé z největších výzev současnosti, jako je potřeba zvýšit produkci potravin a současně snižovat emise skleníkových plynů. Rozvoj těchto systémů vyžaduje multidisciplinární přístup spojující expertízu v oblastech fotovoltaiky, zemědělství, hydrologie a ekologie, což otevírá nové cesty pro udržitelný rozvoj a integraci obnovitelných zdrojů energie do našich životů.

### 3 Budoucnost agrovoltaických systémů

Budoucnost agrovoltaických systémů je velmi slibná. Jak technologický vývoj, tak rostoucí potřeba udržitelné výroby energie a zemědělství tlačí na jejich rychlejší rozvoj a implementaci. Několik klíčových trendů a vývojových směrů naznačuje, jakým směrem by se agrovoltaika mohla ubírat v nadcházejících letech.

Globální rozvojový potenciál agrovoltaiky a tím i její expanze se v budoucnu bezesporu výrazně zvýší, a to nejen v důsledku potřeby obrovského množství obnovitelných zdrojů energie a rostoucí potřeby ochrany plodin, ale i v souvislosti se změnou klimatu.<sup>89</sup>

OBRÁZEK 32: MOŽNÉ ÚČINKY OCHRANY PLODIN PROSTŘEDNICTVÍM RŮZNÝCH ÚHLŮ AGROVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ<sup>90</sup>



#### 3.1 Technologický pokrok

S pokračujícím výzkumem v oblasti fotovoltaických technologií lze očekávat vývoj solárních modulů s vyšší účinností a lepšími vlastnostmi pro agrovoltaické aplikace, včetně modulů, které optimalizují průchod světla pro podporu fotosyntézy.

Vývoj efektivnějších a cenově dostupnějších systémů pro akumulaci energie umožní lepší využití solární energie vyrobené agrovoltaickými systémy, to zvýší jejich ekonomickou a energetickou efektivitu.

#### 3.2 Rozšiřování aplikací

Agrovoltaika bude kombinována s inteligentními zemědělskými technologiemi, jako je robotizace a systémy přesného zemědělství, které umožňují optimalizovat využití vody, hnojiv a dalších vstupů. Tento soubor technologií se nazývá Zemědělství 4.0.

Rozšíření agrovoltaických systémů na různé typy zemědělské produkce, včetně pastvin, ovocných sadů a vinic, nabízí možnost zvýšit jejich využití a přínosy pro širší spektrum zemědělského sektoru. Současně se začínají objevovat i zemědělské stroje poháněné výlučně fotovoltaickými moduly.

<sup>89</sup> WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-02-11].

<sup>90</sup> WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-03-29].

### **3.3 Politická a ekonomická podpora**

Vlády a mezinárodní organizace mohou nabídnout podpůrné politiky, finanční pobídky a subvence, které pomohou překonat počáteční investiční bariéry a podpoří rychlejší rozšíření agrovoltaických systémů.

S rostoucím důrazem na udržitelnost a snižování uhlíkové stopy se agrovoltaika stává atraktivní možností pro podniky a vlády, které se snaží dosáhnout svých environmentálních cílů.

### **3.4 Výzvy a překážky**

Na místě je potřeba dalšího výzkumu pro maximalizaci potenciálu agrovoltaických systémů, zejména ve vztahu k jejich dopadu na zemědělskou produkci a biodiverzitu. Zároveň efektivní integrace vyrobené solární energie do stávajících energetických sítí bude vyžadovat pokročilé řešení a inovace v oblasti energetické infrastruktury.

Vzhledem k těmto trendům a vývojovým směrům má agrovoltaika potenciál stát se klíčovým prvkem v budoucnosti udržitelné energetiky a zemědělství, přinášet ekonomické přínosy pro zemědělce, zlepšovat bezpečnost potravin a napomáhat v boji proti změně klimatu. Výzvy zůstávají, ale s pokračujícím výzkumem, inovacemi a podporou mohou být překonány, a tak zároveň umožnit agrovoltaice plně rozvinout svůj potenciál.

### **3.5 Decentralizace**

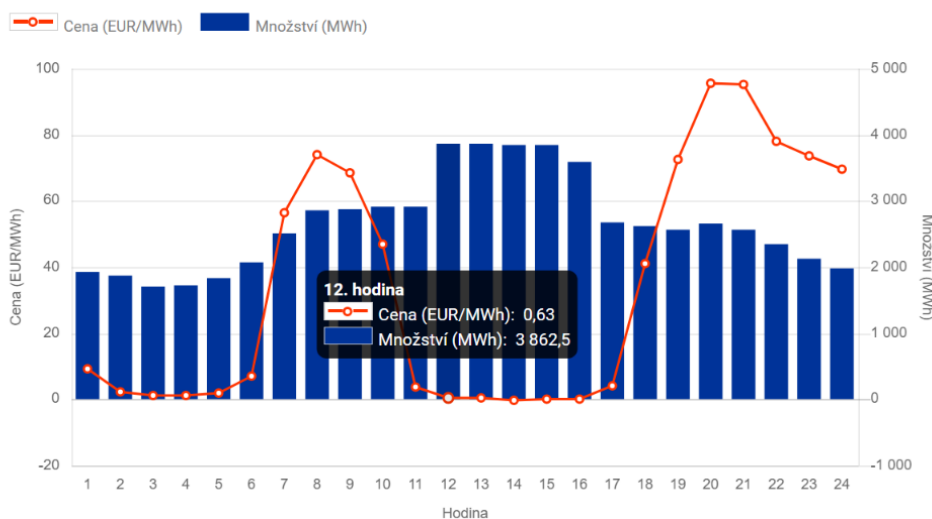
Velkou výhodou agrovoltaiky je zdrojová decentralizace. Zemědělská půda obklopuje města a vesnice, takže se zkracuje cesta energie. Současné ztráty na přenosu a distribuci elektřiny v naší centralizované elektrizační soustavě jsou téměř na úrovni roční výroby jednoho jaderného bloku, takže s postupnou decentralizací může dojít ke znatelným úsporám. Pokud elektřina musí projít více napěťovými hladinami, vždy se část energie po cestě ztratí, především ve formě tepla a zkrácení cesty elektronů pomůže snížit emisní stopu její spotřeby.

### **3.6 Flexibilita**

Vzhledem k volatilitě cen energie spotřebitelé začínají přizpůsobovat svůj odběr elektřiny i v průběhu dne, respektive dnů týdne. Dříve to byl nízký a vysoký tarif pro lepší regulaci zatížení distribuční sítě (například pro spínání bojlerů). Dnes se při obchodování přechází na 15minutové zúčtovací bloky, které více odpovídají reálnému provozu energetické sítě z pohledu nabídky (obnovitelných) zdrojů a poptávky spotřebitelů. Pokud je cena elektřiny nejnižší, například o víkendu mezi 12–16 hodinou (protože neběží průmysl a je slunečný den, takže elektřiny je v síti výrazný nadbytek), tak může spotřebitel v rámci svých možností (flexibility) posunout větší spotřebu na tyto hodiny, respektive dny (praní, dobíjení auta, a další), případně v takové době energii akumulovat na dobu špičky. Příkladem mohou být také průmyslové chladicí a mrazicí aplikace, kde je možné akumulovat chlad v době dostatku energie v síti, a naopak omezit spotřebu v době jejího nedostatku a stále bude zachován účel, tedy uchování potravin, kterým je jedno, jestli jsou zmrazeny při  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  nebo  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Obdobně při akumulaci tepla nebo samotné elektřiny do chemických, gravitačních a jiných baterií.

GRAF 5: CENY ELEKTRINY NA SPOTOVÉM TRHU (DEN DOPŘEDU)<sup>91</sup>

### Výsledky denního trhu ČR - 02.04.2024



## 3.7 Akumulace energie

### 3.7.1 Krátkodobá akumulace energie

Krátkodobá akumulace energie je klíčovým prvkem v systémech správy energie, zejména v kontextu obnovitelných zdrojů energie, jako je solární nebo větrná energie, které jsou svou povahou proměnlivé. Tento typ akumulace umožňuje dočasné uložení vyrobené energie a její využití v době, kdy je poptávka vyšší než aktuální výroba, nebo když je produkce energie nízká. Krátkodobá akumulace hraje zásadní roli v zajišťování spolehlivosti a stability elektrické sítě. V krátkodobém režimu jde především o překlenutí nocí a dnů bez slunečního svitu.

**Přečerpávací vodní elektrárny (PVE)** jsou významným a osvědčeným řešením v oblasti uchování energie. Patří mezi nejstarší a zároveň nejrozšířenější metody skladování velkého objemu. Tyto systémy využívají relativně jednoduchý, ale efektivní princip akumulace energie, který spočívá ve využití gravitace a rozdílu výšek mezi dvěma nádržemi vody. V době, kdy je nadbytek elektrické energie (například v noci nebo při vysoké produkci energie z obnovitelných zdrojů), se elektrická energie použije k přečerpání vody z nižší nádrže do vyšší. Tento proces představuje akumulaci potenciální energie.

Když pak systém zaznamená zvýšenou poptávku po elektrické energii nebo její nedostatek, uvolněná voda je propuštěna zpět do nižší nádrže přes turbíny, které generují elektrickou energii. Tímto způsobem PVE funguje jako obrovská baterie, umožňující flexibilní a rychlou reakci na kolísání v produkci a spotřebě elektrické energie, a to s velmi vysokou účinností, často přesahující 80 %.

Klíčové výhody přečerpávacích vodních elektráren zahrnují jejich schopnost skladovat velké množství energie, což je ideální pro vyrovnávání denních a sezónních kolísání v energetickém systému. Dále mají PVE dlouhou životnost, nízké provozní náklady ve

<sup>91</sup> Krátkodobé trhy. Online. OTE. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh?date=2024-04-02>. [cit. 2024-04-04].

srovnání s jinými formami akumulace energie a také přispívají ke stabilitě a spolehlivosti energetického systému.<sup>92</sup>

Nicméně výstavba a provoz PVE vyžaduje specifické geografické podmínky, jako jsou vhodné lokality s dostatečným rozdílem v nadmořské výšce a může mít také vliv na lokální ekosystémy a vodní toky. Navzdory těmto výzvám zůstávají přečerpávací vodní elektrárny klíčovou součástí moderních energetických systémů, především díky jejich schopnosti efektivně řešit výzvy spojené s integrací obnovitelných zdrojů energie a zajištěním spolehlivosti dodávek elektrické energie.<sup>93</sup>

**Chemické baterie**, díky svým unikátním vlastnostem, představují v současné době hlavní způsob akumulace energie pro široké spektrum aplikací. Jsou zásadním prvkem v domácnostech, komerčních a průmyslových zařízeních, a hrají klíčovou roli i v sektoru energetiky, zejména při zajišťování kontinuity dodávek a stabilizaci elektrických sítí. Významným atributem chemických baterií je jejich schopnost nabídnout vysokou hustotu energie. To znamená, že mohou skladovat velké množství energie v relativně malém objemu.

Dlouhá životnost chemických baterií znamená, že mohou efektivně sloužit po mnoho let před tím, než je nutné je nahradit. To snižuje potřebu časté výměny a z toho plynoucí náklady, a zároveň přispívá k ochraně životního prostředí snížením odpadu. Dalším klíčovým faktorem je dobrý poměr výkonu k velikosti, což umožňuje jejich efektivní využití v široké škále zařízení, od malých spotřebičů po velká energetická úložiště.

Specifické vlastnosti chemických baterií, včetně jejich kapacity, rychlosti nabíjení a vybíjení, a celkové životnosti, se výrazně liší v závislosti na složení katodových a anodových materiálů. Různé typy baterií, jako jsou lithiové-iontové, olovené, nikl-metal hydridové a další, mají různé výhody a omezení, které je činí vhodnými pro různé aplikace. Například lithiové-iontové baterie jsou preferovány pro jejich vysokou hustotu energie a dlouhou životnost, což je činí ideálními pro použití v elektrických vozidlech a přenosných elektronických zařízeních.<sup>94</sup>

---

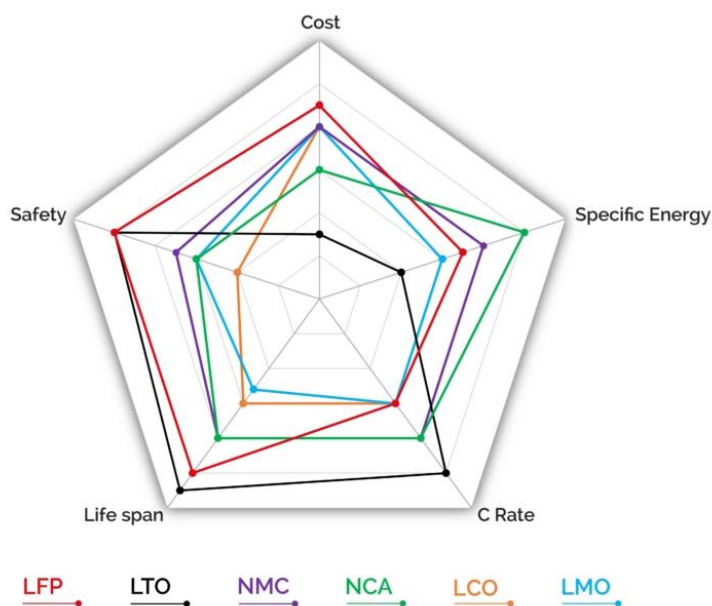
<sup>92</sup> NIKOLAOS, Papadakis C.; MARIOS, Fafalakis a DIMITRIS, Katsaprakakis. A Review of Pumped Hydro Storage Systems. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 11. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16114516>. [cit. 2024-04-04].

<sup>93</sup> The future of energy storage: how pumped hydro storage can help us achieve our net zero targets. Online. *SEE*. 2024. Dostupné z: <https://www.sse.com/news-and-views/2024/02/pumped-hydro-storage-can-help-us-achieve-net-zero-targets/>. [cit. 2024-04-04].

<sup>94</sup> CROWNHART, Casey. What's next for batteries. Online. *MIT Technology Review*. 2023. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/2023/01/04/1066141/whats-next-for-batteries/>. [cit. 2024-04-04].



OBRÁZEK 33: DIAGRAM UKAZUJÍCÍ SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TYPŮ LITHIOVÉ BATERIE<sup>95</sup>



Energie je uložena v chemických vazbách, především lithia, ale v produkční verzi jsou již také sodíkové baterie sice s nižší hustotou, ale současně výrazně nižší cenou, která je pro síťové aplikace zásadní.

Pokračující výzkum a vývoj v oblasti chemických baterií se zaměřuje na zlepšení jejich výkonu, snížení nákladů a zvýšení bezpečnosti. Inovace, jako jsou nové materiály pro elektrody a elektrolyty, slibují další zlepšení v účinnosti a snížení environmentálního dopadu. Tyto pokroky otevírají dveře k širšímu využití obnovitelných zdrojů energie a podporují přechod k udržitelnější a energeticky nezávislé budoucnosti.<sup>96</sup>

**Setrvačníky**, technologie založené na principu ukládání energie ve formě kinetické energie, představují zajímavou metodu pro krátkodobé ukládání energie. Energie je akumulována tím, že se setrvačnický roztočič na vyšší rychlosti, čímž se zvyšuje jeho kinetická energie. Když je v systému přebytek energie, energie se využívá k urychlení rotace setrvačnického. Naopak, když je potřeba energii do systému dodat, setrvačnický zpomalí a předává svou kinetickou energii zpět do sítě ve formě elektrické energie.

Setrvačnické jsou zejména vhodné pro aplikace, které vyžadují rychlé reakce, jako je frekvenční regulace a poskytování pomocných služeb v energetických sítích. Díky jejich schopnosti rychle reagovat na změny v dodávce a poptávce energie mohou přispět ke stabilizaci sítě a zajištění jejího bezproblémového fungování.

I když mají setrvačnické oproti jiným formám akumulace energie menší kapacitu pro dlouhodobé ukládání energie, jejich potenciál v oblasti krátkodobé regulace a stabilizace sítě je neméně důležitý. Jejich hlavní výhodou je vysoká rychlost odezvy a schopnost

<sup>95</sup> Which chemistry is most suitable for the electrification of your vehicle? Let's discover the different types of batteries. Online. *FLASH BATTERY*. Dostupné z: <https://www.flashbattery.tech/en/types-of-lithium-batteries-which-chemistry-use/>. [cit. 2024-04-01].

<sup>96</sup> STAUFFER, Nancy W. Flow batteries for grid-scale energy storage. Online. *MIT Energy Initiative*. 2023. Dostupné z: <https://news.mit.edu/2023/flow-batteries-grid-scale-energy-storage-0407>. [cit. 2024-04-04].

poskytovat nebo absorbovat energii během několika sekund nebo dokonce milisekund, a to je klíčové pro řešení okamžitých nerovnováh v energetických sítích.

Navíc, setrvačníky vykazují vysokou účinnost při přenosu energie a nízké provozní náklady, stávají se tak atraktivní volbou pro specifické aplikace. Jejich konstrukce a provoz jsou relativně jednoduché a nevyžadují použití nebezpečných nebo vzácných materiálů, což přispívá k jejich environmentální udržitelnosti. Přestože kapacita jednotlivých setrvačníků pro dlouhodobější akumulaci energie není srovnatelná s jinými technologiemi, jejich využití pro krátkodobou stabilizaci a podporu energetických sítí má značný potenciál pro budoucí rozvoj a inovace v oblasti ukládání energie.<sup>97</sup>

**Elektromobily** dnes slouží primárně jako spotřebiče elektřiny, ale s rozvojem technologie Vehicle2Grid (V2G), tedy zpětné dodávky elektřiny do sítě bude v brzké době možné počítat s jejich stabilizačním efektem v pozitivním směru. Pro představu každý milion elektromobilů bude disponovat použitelnou kapacitou v řádech vyšších desítek GWh. Pro srovnání přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně má kapacitu 3,7 GWh. V ČR je v provozu více jak 6,4 milionu osobních vozidel, které ale v průměru parkují více jak 23,5 hodiny, takže akumulační potenciál je obrovský. Kdyby každé auto zpřístupnilo 10 % kapacity své baterie pro síťovou akumulaci, tak vznikne s minimální investicí ekvivalent 10 Dlouhých stránek rozprostřených po celé republice.

Spotřeba elektromobility bude postupně růst. Predikce Státní energetické koncepce počítá ve 40. letech 21. století s nárůstem spotřeby elektřiny pro dopravu na 16 TWh. Bude třeba budovat mnoho nových zdrojů.

**Akumulace energie do tepla a chladu** představuje inovativní a efektivní způsob, jak řešit výzvy spojené s krátkodobým skladováním energie. Tato metoda využívá schopnosti různých materiálů akumulovat teplo nebo chlad při změně svého tepelného stavu, díky tomu umožňuje efektivní využití přebytečné energie. V praxi to může zahrnovat zahřívání vody, solných roztoků, nebo speciálně vyvinutých tepelných médií, která jsou schopna absorbovat a uchovávat značné množství energie. Tato energie je poté skladována a může být využita v budoucnu pro různé účely, včetně vytápění budov, chlazení prostor, nebo dokonce pro výrobu elektrické energie prostřednictvím termodynamických procesů.

Jednou z hlavních výhod této technologie je její flexibilita a široké spektrum aplikací. V oblasti vytápění a chlazení budov může akumulace tepla a chladu znamenat značné úspory energie tím, že umožňuje využití energie získané v době nízké spotřeby (například v noci nebo v době výrobního přebytku) pro potřeby v době jejího vrcholu. Tímto způsobem může akumulace tepla a chladu také přispívat k vyrovnávání zatížení v energetické síti a zvyšování její stability.

Navíc, s rostoucím významem obnovitelných zdrojů energie, které jsou často charakterizovány proměnlivou výrobou, nabízí akumulace energie do tepla a chladu efektivní řešení pro překonání výzev spojených s jejich integrací do energetického mixu. Umožňuje totiž uchovat energii vyrobenou v době přebytku a použít ji v době, kdy je výroba nižší než poptávka.

Technologie akumulace energie do tepla a chladu se neustále vyvíjí, a výzkum v této oblasti se zaměřuje na hledání nových materiálů a metod, které by mohly dále zlepšit

---

<sup>97</sup> XU, Kai; GUO, Youguang; LEI, Gang a ZHU, Jianguo. A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 18. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16186462>. [cit. 2024-04-04].

efektivitu a ekonomickou návratnost těchto systémů. S rostoucím důrazem na udržitelnost a potřebou efektivního využívání energie se očekává, že akumulace energie do tepla a chladu bude hrát stále důležitější roli v energetických systémech budoucnosti.<sup>98</sup>

V kombinaci s vakuovou izolací se začínají připravovat projekty pro dlouhodobé skladování tepla, respektive chladu pro použití v následující sezóně, tedy tepla z léta v následující zimě a naopak. Pro tyto aplikace se používají velké „termosky“, které mají nízkou teplotní konduktivitu s okolím a mohou udržet požadovaný rozdíl teplot po mnoho měsíců s minimálním poklesem.

### **Akumulace pomocí stlačeného vzduchu (CAES – Compressed Air Energy Storage)**

představují efektivní metodu pro ukládání přebytečné elektrické energie tím, že komprimují vzduch do podzemních úložišť, jakými jsou vyčerpaná ložiska plynu, solné dutiny, nebo přírodní podzemní jeskyně. Tento způsob akumulace energie je zvláště vhodný pro velké množství energie a může sloužit jako důležitý prvek v systémech obnovitelné energie, kde je produkce energie proměnlivá, a ne vždy předvídatelná.

Když je v systému přebytek energie, například během období vysoké produkce větrné nebo solární energie, tato energie se využije k pohonu kompresorů, které stlačují vzduch do zmiňovaných podzemních úložišť. Vzduch je uložen pod vysokým tlakem a může být v tomto stlačeném stavu uchován po dlouhou dobu bez významných energetických ztrát.

V momentě, kdy je potřeba dodat energii do sítě, například v obdobích nízké produkce obnovitelných zdrojů nebo během špičkové spotřeby, se stlačený vzduch uvolňuje z úložiště. Při uvolňování prochází procesem expanze, během kterého se ohřívá a expanduje, což pohání turbíny připojené ke generátorům pro výrobu elektrické energie. Tento proces přeměny uložené potenciální energie zpět na elektrickou energii umožňuje flexibilní reakci na kolísání v energetické síti a podporuje stabilitu a spolehlivost dodávek energie.

Systémy CAES nabízejí řadu výhod, včetně možnosti dlouhodobého ukládání velkého množství energie, rychlé reakce na poptávku po energii a relativně vysoké účinnosti. Jsou považovány za klíčovou technologii pro integraci obnovitelných zdrojů energie do energetického mixu a pro zajištění kontinuity dodávek elektrické energie v budoucích udržitelných energetických systémech.<sup>99</sup>

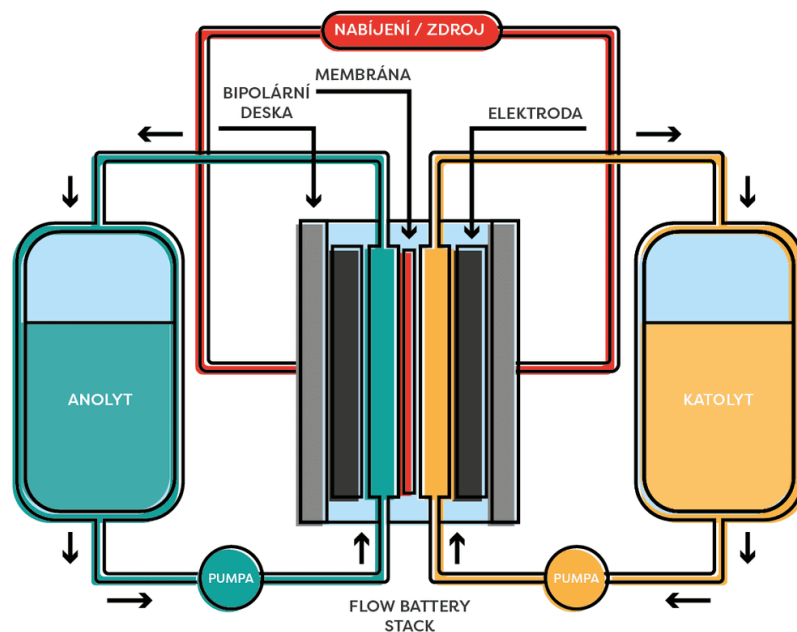
**Průtočné baterie**, známé také pod pojmem redox-flow baterie, představují unikátní kategorii akumulátorů, které mají schopnost ukládat elektrickou energii prostřednictvím chemických reakcí mezi dvěma tekutými elektrolyty. Podobá se spíše palivovým článkům, kdy jsou elektrolyty typicky uschovány v oddělených nádržích a do reakční membrány jsou přiváděny pouze v okamžiku, kdy je potřeba generovat elektrickou energii. V této části jsou elektrolyty odděleny membránou, která zabraňuje jejich přímému smíšení, ale umožňuje iontům procházet a umožňuje tak proběhnout redoxní reakci, při které dochází k výrobě elektrického proudu.

---

<sup>98</sup> POMPEI, Laura; NARDECCHIA, Fabio a MILIOZZI, Adio. Current, Projected Performance and Costs of Thermal Energy Storage. Online. *Processes*. 2023, roč. 11, č. 3. ISSN 2227-9717. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr11030729>. [cit. 2024-04-04].

<sup>99</sup> RABI, Ayah; RADULOVIC, Jovana a BUICK, James. Comprehensive Review of Compressed Air Energy Storage (CAES) Technologies. Online. *Thermo*. 2023, roč. 3, č. 1, s. 104-126. ISSN 2673-7264. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/thermo3010008>. [cit. 2024-04-04].

OBRÁZEK 34: SCHÉMA BATERIE S TEKUTÝM ELEKTROLYTEM<sup>100</sup>



Jednou z hlavních výhod průtočných baterií je možnost oddělit energii a výkon. Kapacita baterie je určena množstvím elektrolytů v nádržích, zatímco výkon baterie závisí na velikosti elektrochemické buňky. Tato flexibilita umožňuje přizpůsobení systémů specifickým potřebám aplikace, jež činí průtočné baterie ideální pro stacionární aplikace, jako je akumulace přebytečné energie z obnovitelných zdrojů, poskytování záložního napájení nebo podpora stabilizace energetické sítě.

Další významnou výhodou je jejich schopnost dlouhodobého ukládání energie s minimálními ztrátami, což je klíčové pro efektivní využívání fluktuujících zdrojů energie, jako jsou solární nebo větrné elektrárny. Průtočné baterie také nabízejí vysokou míru bezpečnosti a dlouhou životnost, s potenciálem tisíců cyklů nabíjení a vybíjení bez výrazného poklesu kapacity.

Vzhledem k těmto přednostem mají průtočné baterie potenciál stát se klíčovým prvkem v budoucích energetických systémech, umožňujícím efektivnější využití obnovitelných zdrojů a zlepšení spolehlivosti a stability elektrické sítě. Jejich další vývoj a integrace do energetické infrastruktury může významně přispět k přechodu na udržitelnější a ekologičtější způsoby výroby a skladování energie.

V případě, že se podaří elektrolyt postavit na organické bázi s velmi nízkou cenou, získala by tato technologie potenciál i pro dlouhodobé uložení energie.<sup>101</sup>

<sup>100</sup> Redox-flow baterie. Online. CGT CarbonGmbH. Dostupné z: <https://cgt-carbon.com/cz/aplikace/redox-flow-baterie/>. [cit. 2024-04-01].

<sup>101</sup> OLABI, Abdul Ghani; ALLAM, Mohamed Adel; ABDELKAREEM, Mohammad Ali; DEEPA, T. D.; ALAMI, Abdul Hai et al. Redox Flow Batteries: Recent Development in Main Components, Emerging Technologies, Diagnostic Techniques, Large-Scale Applications, and Challenges and Barriers. Online. *Batteries*. 2023, roč. 9, č. 8. ISSN 2313-0105. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/batteries9080409>. [cit. 2024-04-04].

### 3.7.2 Dlouhodobá akumulace energie

Dlouhodobá nebo mezisezonní akumulace energie představuje klíčový prvek pro efektivní využití energie v agrovoltaických systémech. Tento přístup je obzvláště relevantní v kontextu ročního koloběhu, kde nadbytek energie vyrobené během slunečných letních měsíců často převyšuje noční spotřebu a potřeby během méně slunných dnů. Tento nadbytek energie je potřeba efektivně ukládat pro období, kdy je poptávka po energii vyšší než její výroba, typicky v zimních měsících s nižším množstvím slunečního svitu. Letní přebytky budou tak velké, že bez jejich dlouhodobého ukládání se zásadně prodlouží návratnosti instalovaných systémů.

Problém mezisezonní akumulace energie vyžaduje inovativní řešení, která umožňují uchovat velké množství energie po dlouhou dobu bez významných ztrát. Mezi možné metody patří chemická akumulace energie v podobě vodíku vyrobeného elektrolýzou vody během letních měsíců, který lze poté v palivových článcích proměnit zpět na elektrickou energii v obdobích vyšší poptávky. Dalšími možnostmi jsou využití alternativních pokročilých bateriových systémů a tepelné akumulace v izolovaných rezervoárech.

Tato strategie dlouhodobé akumulace energie nejenže umožňuje optimalizaci výnosů z agrovoltaických systémů, ale také přispívá ke stabilizaci energetických sítí tím, že vyrovnává kolísání v nabídce a poptávce po energii. V kontextu rostoucí potřeby zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie a současné snahy o zajištění jejich spolehlivosti a dostupnosti je mezisezonní akumulace energie nezbytným nástrojem pro dosažení energetické udržitelnosti a nezávislosti.<sup>102</sup>

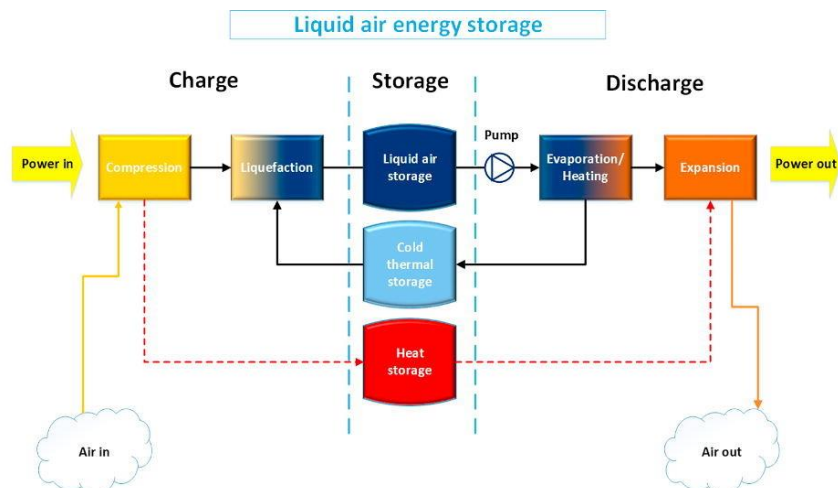
**Akumulace do zkapalněného vzduchu (LAES – Liquid Air Energy Storage)** představuje jednu z nejnovějších a nejperspektivnějších technologií v oblasti akumulace energie. Princip této metody spočívá v ochlazení vzduchu na velmi nízké teploty, až do bodu, kdy se vzduch zkapalní. Tento proces vyžaduje značné množství energie, která se tak „ukládá“ do změny skupenství vzduchu. Zkapalněný vzduch se následně skladuje ve speciálně navržených, vysoce izolovaných nádržích, které udržují jeho teplotu na potřebně nízké úrovni bez nutnosti dalšího energetického vstupu.

Současně je třeba skladovat i teplo respektive chlad, který se produkuje při skupenské změně tak, aby byla zajištěna maximální účinnost takového systému.

---

<sup>102</sup> GUERRA, Omar J.; ZHANG, Jiazi; EICHMAN, Joshua; DENHOLM, Paul; KURTZ, Jennifer et al. The value of seasonal energy storage technologies for the integration of wind and solar power. Online. 2020, roč. 13, č. 7, s. 1909-1922. ISSN 1754-5692. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D0EE00771D>. [cit. 2024-04-04].

OBRÁZEK 35: SCHÉMA UKLÁDÁNÍ ENERGIE DO ZKAPALNĚNÉHO VZDUCHU<sup>103</sup>



Když je následně potřeba energie zpět v systému, zkapalněný vzduch se ohřeje a expanduje. Tato expanze je extrémně rychlá a silná, což umožňuje využít expandující vzduch k pohonu turbín a generování elektrické energie. Tento proces umožňuje rychlé reakce na kolísání v poptávce po energii a poskytuje spolehlivý zdroj pro pokrytí špiček ve spotřebě.

Jednou z hlavních výhod technologie LAES je její flexibilita v umístění, protože na rozdíl od některých jiných metod akumulace energie, jako jsou přečerpávací vodní elektrárny, nevyžaduje specifické přírodní podmínky. To znamená, že systémy LAES lze teoreticky instalovat téměř kdekoli, což umožňuje lokální akumulaci a využití energie a snižuje potřebu dlouhodobého přenosu energie přes rozvodnou síť.

OBRÁZEK 36: VIZUALIZACE LAES AKUMULAČNÍHO ZDROJE S NÁDRŽEMI NA TEPLA A ZKAPALNĚNÝ VZDUCH<sup>104</sup>



Dále je LAES hodnocena jako technologie s potenciálem pro dlouhodobé skladování energie, které je klíčové pro efektivní využití obnovitelných zdrojů energie, jejichž produkce je často proměnlivá a závislá na aktuálních povětrnostních podmínkách. Tím, že LAES umožňuje uchovávat přebytečnou energii vyrobenou v době vysoké produkce

<sup>103</sup> *Liquid air energy storage*. Online. In: . Dostupné z: [https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0306261916319018-fx1\\_lrg.jpg](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0306261916319018-fx1_lrg.jpg). [cit. 2024-04-01].

<sup>104</sup> *Liquid Air Energy Storage: Pumped Hydro Capability No Geographical Constraints*. Online. In: . London: Highview Power, 2017. Dostupné z: <https://www.highviewpower.com/wp-content/uploads/2018/04/Highview-Brochure-November-2017-Online-A4-web.pdf>. [cit. 2024-04-01].

a využít ji v obdobích vysoké poptávky nebo nízké produkce, přispívá ke stabilizaci energetických sítí a zvyšuje celkovou efektivnost využití obnovitelných zdrojů energie.<sup>105</sup>

**Power2Gas (P2G)**, technologie přeměny elektrické energie na plyn, představuje inovativní řešení v oblasti ukládání energie a jejího následného využití. Hlavním principem této technologie je využití přebytečné elektrické energie, typicky z obnovitelných zdrojů jako jsou solární moduly nebo větrné turbíny, pro elektrolýzu vody, čímž dochází k produkci vodíku. Tento proces může být rozšířen o další kroky, jako je metanizace, při které se vodík reaguje s oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>) za vzniku metanu, což je hlavní složka zemního plynu.

Vytvořené plyny – metan – mají tu výhodu, že se dají skladovat po velmi dlouhou dobu v různých druzích úložišť, jako jsou podzemní sklady plynu, a využívat podle aktuální potřeby. To umožňuje nejen efektivní vyrovnávání nabídky a poptávky v energetických sítích, ale také poskytuje flexibilní způsoby využití ukládané energie. Plyn může být využit pro generování elektrické energie v dobách, kdy je výroba z obnovitelných zdrojů nedostatečná nebo kdy je vysoká poptávka, pro vytápění budov, nebo jako palivo pro dopravu, zejména v segmentech, kde je obtížnější přechod na elektrickou energii, jako je těžká nákladní doprava nebo letectví.

P2G technologie tedy nabízí multifunkční řešení pro energetický systém, které pomáhá integraci obnovitelných zdrojů energie, snižuje závislost na fosilních palivech a přispívá k dekarbonizaci energetiky. Zároveň umožňuje využití stávající plynárenské infrastruktury pro skladování a distribuci energie, jež může významně snížit potřebné investice do nové infrastruktury pro skladování energie a zvyšovat celkovou efektivitu systému.<sup>106</sup>

**Gravitační baterie** představují fascinující koncept v oblasti ukládání energie, který využívá základní principy fyziky k efektivnímu skladování a vydávání elektrické energie. Tento typ baterie funguje na základě potenciální gravitační energie, kde energie je ukládána prostřednictvím zdvihání těžkých hmot proti gravitační síle Země. Když je potřeba energii uvolnit, tyto hmoty jsou kontrolovaně spouštěny dolů, jejich potenciální energie se přeměňuje zpět na mechanickou a následně na elektrickou energii prostřednictvím generátorů.

Jedná se o relativně nový a inovativní přístup k ukládání energie, který nabízí několik významných výhod. Gravitační baterie jsou obzvláště vhodné pro dlouhodobé ukládání energie, neboť nejsou omezeny chemickým stárnutím, jako je tomu u tradičních baterií. Díky své jednoduchosti a využití převážně mechanických komponentů mají potenciál pro vysokou trvanlivost a nízké provozní náklady.

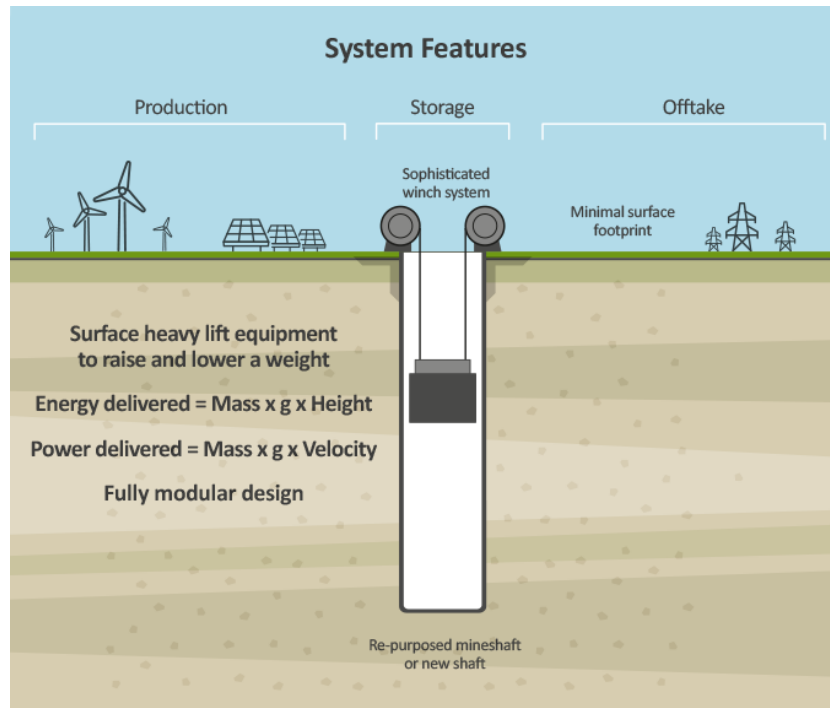
Další předností gravitačních baterií je jejich environmentální udržitelnost, jelikož nevyžadují vzácné nebo toxické materiály pro svou funkci. Tato vlastnost je zvláště relevantní v kontextu rostoucího důrazu na ekologickou stopu energetických technologií.

---

<sup>105</sup> RABI, Ayah Marwan; RADULOVIC, Jovana a BUICK, James M. Comprehensive Review of Liquid Air Energy Storage (LAES) Technologies. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 17. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16176216>. [cit. 2024-04-04].

<sup>106</sup> PERNA, Alessandra; MORETTI, Linda; FICCO, Giorgio; SPAZZAFUMO, Giuseppe; CANALE, Laura et al. SNG Generation via Power to Gas Technology. Online. *Applied Sciences*. 2020, roč. 10, č. 23. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app10238443>. [cit. 2024-04-04].

OBRÁZEK 37: PODZEMNÍ GRAVITAČNÍ AKUMULACE ENERGIE<sup>107</sup>



V případě existujícího důlního díla je možné využít původní šachty nebo naopak vybudovat konstrukci nad zemí, která uchová energii uložením těžkých bloků nad zemí.<sup>108</sup>

**Termální akumulace**, ukládání energie ve formě tepla, představuje efektivní a flexibilní metodu pro zachování přebytečné energie, která může být využita v různých aplikacích, od vytápění po výrobu elektrické energie. Tato technologie využívá schopnosti různých materiálů akumulovat a dlouhodobě uchovávat tepelnou energii, která byla získána například z obnovitelných zdrojů energie v době jejich vysoké produkce nebo z přebytků energie v energetických sítích.

Mezi oblíbené materiály pro ukládání tepelné energie patří voda, kvůli její vysoké tepelné kapacitě a dostupnosti, soli, které mohou uchovávat energii ve formě latentního tepla při změně skupenství, a roztavené horniny nebo speciální keramické materiály, které se vyznačují schopností akumulovat velké množství tepla při vysokých teplotách.

Když je potřeba energii využít, teplo uchovávané v těchto materiálech lze přímo použít pro vytápění nebo průmyslové procesy, nebo se může přeměnit zpět na elektrickou energii. Tato přeměna se obvykle realizuje prostřednictvím parních turbín nebo organických Rankingových cyklů (ORC), které umožňují efektivní převod tepla na mechanickou a následně na elektrickou energii i za nižších teplot než u vodní páry.

Technologie tepelného ukládání energie nabízí významné výhody, včetně možnosti dlouhodobého ukládání velkého množství energie, flexibility využití akumulovaného tepla a potenciálu snížení spotřeby fosilních paliv pro vytápění a výrobu elektrické energie. Výzvou zůstává zvýšení účinnosti přeměny uvolněného tepla zpět na elektrickou

<sup>107</sup> Technology. Online. *Gravitricity*. Dostupné z: <https://gravitricity.com/technology/>. [cit. 2024-04-01].

<sup>108</sup> This disused mine in Finland is being turned into a gravity battery to store renewable energy. Online. *Euronews*. 2024. Dostupné z: <https://www.euronews.com/green/2024/02/06/this-disused-mine-in-finland-is-being-turned-into-a-gravity-battery-to-store-renewable-ene>. [cit. 2024-04-04].



energii a snížení nákladů na akumulační materiály a infrastrukturu. Rozvoj a inovace v této oblasti jsou proto klíčové pro širší využití této technologie v budoucnosti.<sup>109</sup>

---

<sup>109</sup> SARBU, Ioan a SEBARCHIEVICI, Calin. A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage. Online. *Sustainability*. 2018, roč. 10, č. 1. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su10010191>. [cit. 2024-04-04].

# **PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 Vzorový projekt

V této části se zaměříme na vzorový projekt vertikální agrovoltaiky s orientací východ-západ. Ten bude umístěny v jižní části Středočeského kraje na pozemku s trvalým travním porostem (TTP) o výměře 2 860 m<sup>2</sup>. Na žádost investora není záměrně uvedena přesná lokalita.

Legislativa a normy pro agrovoltaiku se stále tvoří, takže níže zpracovaný projektový záměr zohledňuje pravděpodobný budoucí stav a před jeho fyzickou realizací bude aktualizován.

Cílem projektu je vyhodnotit podmínky pro realizaci menšího projektu z pohledu investice a jeho návratnosti.

Náklady na pronájem nejsou kalkulovány, protože se jedná o vlastní pozemek, kde je zachována původní zemědělská produkce prakticky beze změny.

### 4.1 Umístění projektu

V rámci pozemků investora byl v dané lokalitě vybrán pozemek s existujícím vedením vysokého napětí (VN) a vhodnou orientací svahu. Zemědělec, který na daném půdním bloku dnes hospodaří, je současně jeho vlastníkem a investorem. Elektřina bude primárně spotřebována pro vlastní potřebu prostřednictvím existujícího přímého vedení od sloupové trafostanice a přebytky budou sdíleny v rámci energetické komunity dle novely energetického zákona (tzv. LEX OZE II), který bude od 1. 7. 2024 umožňovat sdílení elektřiny mezi aktivními uživateli a v rámci energetických komunit. Investor předpokládá, že v blízké době dojde k zavedení slevy na distribuci pro komunitní přenos na krátké vzdálenosti, takže bude v místě vyrobená elektřina konkurenceschopnější a dostupnější než ze vzdálenějších zdrojů s vyšší cenou služby za distribuci elektřiny.

Přístupová komunikace je formou nezpevněné cesty zhruba 40 metrů od silnice 3. třídy, kde je možné vyložit materiál pro realizaci a dopravit na místo určení pomocí terénní manipulační techniky investora, takže dojde k drobné úspoře ceny instalace.

Z pohledu stavebního zákona bude stavba třeba umístít na pozemcích, které jsou dle územního plánu určeny pro zemědělské využití. Proces umístění a povolení stavby bude závislý na finální verzi schválené legislativy.

### 4.2 Popis projektu

Fotovoltaické moduly budou umístěny vertikálně na předpjaté lanové konstrukci, celkem v 8 řadách s rozponem 12 metrů tak, aby bylo možné efektivně udržovat travní porost a současně byly splněny podmínky pro zachování zemědělské produkce na daném půdním bloku. Celková plocha instalace 130 kW<sub>p</sub> zabere 2 860 m<sup>2</sup>. Při této hustotě osazení lze dosáhnou zhruba 454 kW<sub>p</sub> na 1 ha.

Pro minimalizaci zásahů do půdy a lepší údržbu travního porostu bude spodní hrana fotovoltaických modulů umístěna 80 cm nad zemí na závěsném lanovém systému. Konstrukce tvořena třemi lany bude kotvena po 30 metrech do napínacích zátěžových bloků, podobně jako je tomu u chmelnic.

Cílem projektu je vybudování základu pro místní energetickou komunitu, která bude postupem času schopná provozu v režimu microgrid, tedy bez nutnosti trvalého připojení k distribuční síti.

### 4.3 Technologie a provedení

Na výstavbu celé agrovoltaiky (AV) bude použito 200 kusů bifaciálních solárních modulů o výkonu 650 W<sub>p</sub>. Celkový nominální výkon elektrárny bude tedy 130 kW<sub>p</sub>.

Vzhledem k vertikální orientaci systému je možné nainstalovat větší výkon modulů, než je nominální výkon střídače tak, aby byl maximálně vytížen, protože vertikálně umístěný modul nikdy nedosáhne nominálního výkonu. Celkový výkon střídačů (2 kusy po 50 kW) je 100 kW. Vzhledem k orientaci je špičkový výkon dosahován dopoledne a odpoledne, kdy je ale intenzita záření obvykle nižší, takže je „overpowering“, tedy vyšší výkon na straně modulů, adekvátní.

Níže uvedená specifikace vychází z dotčených norem pro elektrická zařízení.

#### Rozsah projektu

Stavba řeší napojení AV výkonu 130 kW<sub>p</sub>. Elektrárna je napojena z nízkého napětí (NN) kontejnerového rozvaděče, který bude propojen kabelem typu 1x1-AYKY-J 3 x 240 + 120 mm<sup>2</sup> do staré sloupové trafostanice TS 1. V kontejneru bude vystrojený rozvaděč NN označený R-FVE-AC1, jištěný hlavním jističem In = 150 A. Každý hybridní střídač je samostatně jištěný SIEMENS Deon 3VA1110-3EF36-OAA0 70–100 A, nastaveným na 73 A. Kabelové zemní vedení pro celou AV je uloženo v hloubce 1,2 m a v místech pod komunikací budou uloženy v kabelové chráničce KORUFLEX 160 mm. Datová komunikace je řešena pomocí optiky uložené v hadici HDPE 40 mm a kabelového zemního vedení JYTY-12 x 1,5 mm<sup>2</sup>. V NN kontejneru je instalováno dispečerské řízení RTU z důvodu řízení FVE a přetoků do sítě.

#### Místo připojení výroby k distribuční soustavě – hranice vlastnictví

Místo připojení bude podpěrný bod č. 1 na pozemku č. 140/26 z nadzemního vedení VN č. VN4044. Hranice vlastnictví zařízení provozovatele distribuční soustavy (PDS) končí kotevními izolátory venkovního vedení VN na sloupové trafostanici zákazníka. Spínací prvek k odpojení výroby bude proveden jako úsekový odpojovač přípojky VN US\_PZ\_4616. Spínací stanice (SJZ) bude provedena v rámci PZ\_4616.

#### Podmínky provedení měření odebrané/vyrobené elektřiny

Měření bude provedeno jako nepřímé fakturační typu A, na straně vyššího napětí transformátoru (primární měření).

Hodnoty převodu MTP: 3 x MTP 25/5/5 A, tř. 0,5S, 10 VA

Hodnoty převodu MTN: 3 x MTN 22000 /  $\sqrt{3}/100\sqrt{3}/100\sqrt{3}/100\sqrt{3}$  V, tř. 0,5

Typ skříně měření VSM, která bude umístěna uvnitř kontejneru NN. Provedení spojovacího vedení napěťového a proudového obvodu pro fakturační měření (barvy, délky a průřezy vodičů) bude upřesněno v prováděcím výkresu. Měření bude trvale přístupné.

## **Specifikace zařízení**

Výrobna

Typ výroby: FVE samostatně stojící

Způsob provozu výroby: Výrobna bude provozována s přebytky do distribuční soustavy

Napěťová hladina: VN – 22 kV

Rezervovaný příkon: 10 kW

Celkový instalovaný výkon: 130 kW<sub>p</sub>

Rezervovaný výkon výroby: 100 kW

Povolený rozsah účinníku:

- I. Kvadrant – odběr P, odběr Q (0,95–1)
- II. Kvadrant – dodávka P, odběr Q (nevyhodnocuje se)
- III. Kvadrant – dodávka P, dodávka Q (nevyhodnocuje se)
- IV. Kvadrant – odběr P, dodávka Q (není povolena)

Důvod nevyhodnocování: Autonomní regulace Q (U) výroby dle Pravidel provozování distribuční soustavy.

## **Základní technické údaje**

Napěťové soustavy

3 + PEN 400 V AC, 50 Hz, TN-C

3 + PE + N 400 V / 230 V AC, 50 Hz, TN-C-S

2 1000 V DC IT

## **Celkové energetické poměry**

Celkový instalovaný výkon fotovoltaických (FV) modulů: 130 kW<sub>p</sub>

Celkový rezervovaný výkon výroby: 100 kW

## **Popis technologického zařízení**

V rámci instalace bude použito 200 kusů FV modulů Canadian Solar BiHiKu7 BIFACIAL MONO PERC 650 W<sub>p</sub> o celkovém výkonu 130 kW<sub>p</sub>. Fotovoltaické moduly, budou umístěné na systémové lanové konstrukci se zátěžovými betonovými bloky. Sklon modulů je kolmý proti zemi. Výkon FV modulů je připojen do soustavy 2 střídačů.

## Navrhované zařízení

### Fotovoltaické moduly typ (200 ks)

### Canadian Solar BiHiKu7 BIFACIAL PERC 650 W<sub>p</sub>

Technologie	monokrystalický křemík
Nominální – optimální výkon P:	650 W <sub>p</sub>
Nominální napětí V <sub>mp</sub> :	37,9 Vdc
Napětí naprázdno V <sub>oc</sub> :	45,0 Vdc (+25 °C)
Max.napětí v systému	1500 Vdc
Optimální proud I <sub>mpp</sub> :	17,16 A
Proud nakrátko I <sub>sc</sub> :	18,39 A
Rozměry:	2 384 x 1 303 x 35 mm
Hmotnost:	37,9 kg <sup>110</sup>

### Měnič FVE

### Solinteg INTEG-M-25–50 kW (2 ks)

Popis systému:	Třífázový beztransformátorový střídač
DC vstup	
Max. vstupní napětí:	1000 Vdc
Max. vstupní proud:	4x 30 Adc
AC výstup	
Jmenovitý / Max. výkon AC	50 kW / 55 kVA
Jmen. proud ve fázi	72,2 Aac
Jmenovitá frekvence	50 Hz / 60 Hz
Jmenovité napětí	400/230 Vac (L1, L2, L3, PEN)
Účinnost	1 (0,8 ind. / 0,8 cap.)
Ostatní	
Účinnost měniče:	98,3 % /EURO/
Max. účinnost:	98,8 %
Rozsah pracovních teplot:	-30 °C až +60 °C
Rozměry:	800 x 620 x 300 mm

---

<sup>110</sup> BiHiKu7: BIFACIAL MONO PERC. Online. In: . CSI Solar Co., 2022. Dostupné z: [https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/10/06153525/CS-Datasheet-BiHiKu7\\_CS7N-MB-AG\\_v2.4\\_EN.pdf](https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/10/06153525/CS-Datasheet-BiHiKu7_CS7N-MB-AG_v2.4_EN.pdf). [cit. 2024-04-11].

Hmotnost:	72 kg
Krytí:	IP65 (vnitřní i venkovní instalace)
Komunikační rozhraní	RS485, WLAN
DC vypínač	Integrovaný
Instalace	Na stěnu kontejneru <sup>111</sup>

### **Nastavení ochran**

Měnič je vybaven měřením vyrobené energie. Součástí měniče je i elektronická ochrana sítě dle podmínek provozovatele DS.

Nastavení ochrany pro rozpadové místo je řešeno v analyzátoru sítě a provedeno v souladu s PPDS, příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy (v platném znění).

Rovněž jsou zapracovány technické podmínky připojení (TPP) jako součást budoucí smlouvy o připojení výroby.

O skutečném nastavení ochran bude proveden Protokol nastavení ochran.

Připojovací podmínky pro výroby VN/VVN jsou k dispozici na stránkách: [https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvvn\\_vn.pdf](https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkyvvn_vn.pdf)

### **Nastavení ochran rozpadového místa**

Automatické odpojení u výrobních modulů D na základě odchylky napětí od referenční hodnoty nebude podle čl. 16.2 c) RfG [4] vyžadováno. Výrobní moduly D musí splňovat U/t křivku definovanou jako „fault-ride-through“. Zároveň by iniciace odpojení od soustavy měla probíhat při maximálním a minimálním napětí daném použitou technologií se splněním velikosti a doby provozu v mezích definovaných dle čl. 16.2 b) RfG [4].

Nastavení ochran a jejich časová zpoždění udává PDS v závislosti na koncepci chránění, způsobu provozu (OZ), přípojním bodě (přípojnice transformovny nebo v síti) a výkonu výrobního modulu.

Nastavení se vztahují ke sdruženému napětí v sítích VN a 110 kV. Časy vypnutí sestávají ze součtu časového nastavení a vlastních časů spínačů a ochran.

K provádění funkčních zkoušek ochran je zapotřebí zřídit rozhraní (např. svorkovnici s podélným dělením a zkušebními svorkami). Výrobce je povinen si zajistit sám, aby spínání, kolísání napětí, krátkodobá přerušení vč. OZ nebo jiné přechodové jevy v síti PDS nevedly ke škodám na jeho zařízení.

Všechny ochrany a vypínací obvody těchto ochran jsou připraveny k zaplombování.

---

<sup>111</sup> 25–50kW Hybridní Střídač. Online. In: . Solinteg Power Co, 2024. Dostupné z: <https://cz.solinteg.com/wp-content/uploads/download/INTEG-M-25-50KW-Hybrid-Inverter.pdf>. [cit. 2024-04-11].

## **Chování výrobní v síti**

Výrobní splňuje závazek vyplývající z Pravidel provozování distribuční soustavy, přílohy č. 4 (PPDS), dle Nařízení Komise (EU) 2016/631 RfG a uzavřené Smlouvy funkce Q/U; P/f; LVRT – zajištěno střídači viz prohlášení splnění podmínek RfG výrobcem.

Provoz výrobní nebude zhoršovat parametry kvality elektrické energie v místě připojení. Připojení výrobní nebude způsobovat nedovolené změny napětí v DS. Použité střídače jsou navrženy tak, aby zamezily nežádoucímu vlivu na kvalitu sítě.

Dynamická podpora sítě – dle přílohy 4 PPDS křivka Schopnost překlenutí poruchy pro zdroje se střídačem.

Snížení činného výkonu při nadfrekvenci  $P(f)$  – výrobní připojené do DS, které se automaticky neodpojí, musí být schopné při kmitočtu 50,20 Hz snižovat okamžitý činný výkon gradientem 40 % na Hz.

## **Opětovné připojení k síti**

Automatické připojení výrobní do paralelního provozu se sítí při provozních podmínkách, kdy parametry  $f$  a  $U$  v DS jsou minimálně 5 min. v mezích jmenovitých hodnot a k opětovnému připojení výrobní dojde s výkonem  $P$  od 0 kW s gradientem nárůstu výkonu výrobní 10 %  $P_n/\text{min.}$ , zajištěné měničem.

## **Silnoproudé DC/AC rozvody – propojení FV modulů**

Na konstrukci bude umístěno celkem 200 kusů FV modulů sériově propojených (strings). Jednotlivé FV moduly jsou propojeny jednožilovým kabelem, určeným pro propojování FV modulů (UV stab. 1 500 V) průřezu 6 mm<sup>2</sup>. Stringy jsou připojeny do DC rozvaděče R-FVE-DC1, kde jsou připojeny přes pojistkové odpínače a DC svodiče typu 1+2, dále pak jsou připojeny na vstupní svorky měničů. Měniče jsou vybaveny odpínači stringů i DC svodiči přepětí typu 2, doplněné odpínače a svodiče před měniči jsou z důvodu větší ochrany před bleskovým proudem, při spojení konstrukcí FV modulů s jímací soustavou objektu.

AC výstupy z měničů 400 V jsou připojeny do rozvaděče R-FVE-AC1, je jistič výrobní pro NN připojení svodič typu 1+2 na AC straně. V R-FVE-AC1 je umístěna RTU jednotka, pro ovládání výrobní provozovatelem DS.

DC kabely od FV modulů jsou vyvázány na konstrukci pro FVE moduly a dále vedeny v plechových žlabech s víkem. Krytí a materiál rozvaděčů musí odolávat venkovnímu prostředí (mrazuvzdorné, UV stabilní). Kabelové trasy pro vypnutí rozvaděče FVS mezi rozvaděčem a tlačítkem FVE STOP jsou z kabelů s funkční integritou P30-R a třídy reakce na oheň B2ca-s1-d1.

## **Napojení na síť NN, dispečerské řízení výkonu, připojení VN**

Dle technických připojovacích podmínek bude napojeno z VN US\_PZ\_4616 kabelový svod 3 x 1 x AXEKVCE 70 mm<sup>2</sup> ze stávajících kotevních izolátorů a je uložen v dvoudílném ocelovém krytu v délce 2 m nad zemí. Tento kabel bude uložen následně v zemi v ochranné trubce KORUFLEX 160 mm v hloubce 1,2 m a napojen do rozvaděče VN typu K-M-K-T (SIEMENS) v TS 1 pomocí stíněné koncovky T-Konektor 22 kV CTS630A/EGA/CZ 95-240. V nové kontejneru NN bude osazena skříň VSM, do které bude osazen 4Q elektroměr (dodávka provozovatele DS). Regulace výrobní FVE – asynchronní = 0 %, 30 %, 60 %, 100 %. HDO bude osazeno v elektroměrovém rozvaděči VSM. Signály z HDO jsou vedeny



do rozvaděče R-FVE-AC1 s instalovaným RTU, které následně ovládá řízení výkonu všech měničů. Pro možné dálkové vypnutí výroby je obecně požadováno dispečerské řízení provozovatelem DS (přes HDO, RTU). Pojistková skříň je osazena tabulkou: „Pozor, zpětný proud, pozor, elektrický zdroj“.

### **Rozpadové místo**

Jako rozpadové místo slouží jističe FE1 In = 400 A a FE1 In = 1250 A vyroben s motorovým pohonem a vyrážecí cívkou, umístěných v rozvaděčích R-FVE-AC1. Působí na ně tlačítka STOP FVE, analyzátoři sítě s přednastavenými ochranami sítě a řízené RTU.

### **Výstraha**

FV články dodávají energii vždy, když jsou osvětleny. DC kabely jsou ve dne vždy pod napětím. Na tuto skutečnost je nutné upozornit především hasiče. Kabely, včetně přípojovacích konektorů jsou v krytí min. IP65 a případná stříkající voda na neporušené kabely nemá vliv.

Pro případné hašení poškozených DC kabelů nebo měničů je nutné použít nevodivý hasící prostředek, pro minimální následné poškození je nejvhodnější hašení inertním plynem (CO<sub>2</sub>).

Veškeré jednožilové DC kabely jsou prostorově uspořádány tak, aby oba vodiče (plus, mínus) byly umístěny co nejbližší k sobě a vždy v jednom žlabu. Bude tak minimalizován vznik vnějšího silového pole, které by mohlo způsobit vznik nežádoucích bludných proudů. AC kabely jsou v provedení 4žilovém a zapojeny jsou tak, že proud v kabelech teče vždy oběma směry a navenek se kabel chová neutrálně. V případě jednožilových kabelů je nutné jejich uspořádání ve svazku, vždy celé linky.

### **Certifikace, schvalování a realizace**

Je-li v zadávací dokumentaci definován konkrétní výrobek (nebo technologie), má se za to, že je tím definován minimální požadovaný standard a v nabídce může být nahrazen výrobkem nebo technologií parametrově srovnatelnou.

Všechny výrobky, které podléhají povinnému schvalování a certifikaci ve smyslu zákona č. 22/97 Sb., o technických požadavcích na výrobky, musí být ve smyslu tohoto zákona vybaveny příslušnými schvalovacími certifikačními osvědčeními. Předmětné el. zařízení je zařízení sloužící k výrobě el. energie a připojení na ochranu před účinky atmosférické elektřiny, tj. vyhrazené el. zařízení ve smyslu vyhl. 194/2022 Sb. a jeho montáž včetně revizí může provádět pouze organizace, která má k této činnosti oprávnění.

Provedení elektroinstalace a použitý materiál musí odpovídat platným ČSN.

Před uvedením do provozu bude provedena výchozí revize a vyhotovena revizní zpráva dle ČSN 33 1500 a 33 2000-6, která bude součástí předání zařízení do trvalého provozu.

### **Ochrana před bleskem**

Ochrana před bleskem bude řešena samostatně tak, aby byly všechny komponenty FVE chráněny před přímým úderem blesku. Soustavy svodů a uzemnění bude řešeno tak, aby byl výsledný návrh v souladu se souborem norem ČSN EN 62305. Průřezy vodičů uzemnění a pospojování jsou dle ČSN 33 2000-5-54 ed. 3.

## Požární bezpečnost stavby

Použitá zařízení jsou instalována a zapojena v souladu s manuály výrobců zařízení. FV moduly jsou nehořlavé, DC kabely jsou v kovových žlabech a trubkách. Instalovaná zařízení FV výrobní nebudou mít negativní vliv na stávající provedení požární ochrany v souladu s vyhláškou č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb.

## Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Ochrana bude řešena dle ČSN 33 2000-4-41 ed.3.

Ochrana neživých částí: ochrana automatickým odpojením při poruše a pospojováním.

Ochrana živých částí: krytím a izolací.

V případě absence ochrany před bleskem existuje riziko přímého úderu blesku do fotovoltaického modulu.

V případě spojení hromosvodu s kovovou konstrukcí fotovoltaické elektrárny (a to i takové spojení, které je provedeno v souladu s technickou normou ČSN CLC/TS 50539-12) existuje riziko přeskočení bleskového proudu na vnitřní slaboproudé obvody fotovoltaických modulů, které nemají schopnost vést bleskový proud v řádu kA. Příčinou je velký rozdíl mezi vnitřními obvody fotovoltaického modulu (impulsní odolnost modulů je pouze 8 až 10 kV) a rámem fotovoltaických modulů (blesk vytváří potenciál 100 kV vůči zemi). Pokud jde o přepětovou ochranu, tak s ohledem na její umístění v rozvaděčích stringů nemá vliv na ochranu fotovoltaických modulů, neboť není umístěna v jejich bezprostřední blízkosti.

## 4.4 Ekonomická analýza

Analýza obsahuje přehled nákladů na instalaci jednotlivých modulů do agrovoltaického systému o výkonu 130 kW<sub>p</sub> (celkem je počítáno s 200 kusy modulů s výkonem 650 W<sub>p</sub> každého modulu). Kontejnerový střídač a vyvedení výkonu do sítě je dimenzováno na výkon 100 kW, což je při orientaci modulů zcela dostačující.

Náklady jsou rozděleny do šesti hlavních kategorií: bifaciální moduly, agrovoltaické konstrukce, kabeláže, montáž systému, kontejnerový střídač a vyvedení výkonu do sítě. Pro každou kategorii jsou uvedeny specifické náklady na kW<sub>p</sub> a celkové náklady pro danou kapacitu.

### Náklady na projekt a financování

Investor zajišťuje financování z vlastních zdrojů. Rozpis položek ukazuje, že největší částkou je investice do bifaciálních solárních modulů, celkem 397 800 Kč. Ty představují základní stavební kámen celého systému. Následují náklady na střídače (2 ks), které jsou nezbytné pro přeměnu stejnosměrného (DC) proudu z modulů na střídavý (AC) proud vhodný pro distribuční síť činící 229 500 Kč. Montáž celého systému je odhadnuta na 107 692 Kč, protože většina technologie byla prefabrikovaná za účelem minimalizace instalačních nákladů. Lanová konstrukce je naceněna na 82 103 Kč. DC kabeláž, nezbytná pro propojení solárních modulů, představují menší, ale stále významné náklady 33 150 Kč. V neposlední řadě, vyvedení výkonu do sítě za 124 950 Kč umožní, aby vyrobená elektrická energie mohla být efektivně distribuována do přímého vedení pro vlastní spotřebu a přebytky dodávané do distribuční sítě. Poledními položkami jsou malý použitý 10" technologický kontejner vybavený klimatizací za 63 300 Kč a inženýring

ve výši 130 000 Kč. Celková investice (CAPEX) do projektu činí 1 171 496 Kč, tedy 11 715 Kč za instalovaný kW výkonu.

Součet těchto nákladů je základem pro vstupní investici projektu, které budou následně vyváženy úsporou za vlastní spotřebovanou elektřinu, příjmy z prodeje přebytků elektrické energie a možnými státními dotacemi nebo podporou pro obnovitelné zdroje energie. Návratnost investice a dlouhodobá finanční udržitelnost projektu budou záviset na mnoha faktorech, včetně ceny elektrické energie na trhu, efektivity systému a možných změn v legislativě týkající se obnovitelných zdrojů energie.

Ceny jsou uvedeny za kW<sub>p</sub> resp. kW, tak aby bylo možné v rámci plánování pracovat s jinými parametry systému, tedy např. větší overpowering (více instalovanými moduly na stejném výkonu střídačů).

TABULKA 1: INVESTIČNÍ VSTUPNÍ NÁKLADY AGROVOLTAICKÉHO SYSTÉMU<sup>112</sup>

	<b>Kapacita</b>	<b>Kč/kW<sub>p</sub>   Kč/kW</b>		<b>Cena</b>
Bifaciální modul 650 W <sub>p</sub>	130 kW <sub>p</sub>	3 060 Kč		397 800 Kč
Lanová konstrukce	130 kW <sub>p</sub>	632 Kč		82 103 Kč
DC kabeláž	130 kW <sub>p</sub>	255 Kč		33 150 Kč
Montáž systému	130 kW <sub>p</sub>	828 Kč		107 692 Kč
Hybridní střídač 2x 50 kW	100 kW	2 295 Kč		229 500 Kč
Elektroinstalace	130 kW <sub>p</sub>	510 Kč		66 300 Kč
Vyvedení výkonu do sítě	100 kW	1 250 Kč		124 950 Kč
Inženýring	130 kW <sub>p</sub>	1 000 Kč		130 000 Kč
Kontejner		1 ks		63 300 Kč
<b>Investice celkem</b>				<b>1 171 496 Kč</b>
<b>Cena za instalovaný kW výkonu</b>				<b>11 715 Kč</b>

U klasických fotovoltaických systémů se uvádí cena na instalovaný kW<sub>p</sub>, ale vzhledem k lepšímu porovnání, z důvodu nižšího výkonu, je kalkulace přepočtena na instalovaný výkon střídače.

### **Ekonomické výnosy**

Ekonomické přínosy projektu lze posoudit na základě odhadované produkce elektrické energie během její životnosti a odhadovanou budoucí cenou elektřiny za kWh v porovnání s cenou výroby. Předpokládaná životnost modulů je 25 let a vychází ze záruky na moduly od výrobce. Degradace modulů je pesimisticky stanovena na 20 %, přičemž výrobce garantuje 16,9 %. Celková odhadovaná produkce za životnost modulů dosahuje 2 346 MWh. Pro představu jaderná elektrárna Temelín takové množství elektřiny vyrobí za něco málo přes 1 hodinu, ale při 300 000x vyšší počáteční investici (při předpokladu výstavby jaderné elektrárny za cenu 300 mld. Kč ku předpokladu výstavby agrovoltaické elektrárny za cenu 1 mil. Kč).

<sup>112</sup> Vlastní zpracování

Modelace roční produkce elektřiny byla provedena v softwaru PVSol. Ta činí pro danou lokalitu 819 kWh/kW<sub>p</sub>/rok (tedy ekvivalent 819 hodin plného slunečního svitu na každý instalovaných kW<sub>p</sub>). Počáteční roční produkce by měla být 103,81 MWh, zatímco průměrná roční produkce během životnosti se očekává na úrovni 93,84 MWh. Postupné snižování energetického výnosu je dáno degradací účinnosti systému. Tyto hodnoty degradace vychází ze záruky poskytované výrobcem.

TABULKA 2: PREDIKCE ROČNÍCH PRODUKČÍ V ZÁVISLOSTI NA DEGRADACI<sup>113</sup>

Položka	Rok	Degradace	Zůstatková účinnost	Roční produkce
Výroba	2025	2,50 %	97,50 %	103,81 MWh
Výroba	2026	0,60 %	96,90 %	100,59 MWh
Výroba	2027	0,60 %	96,30 %	99,97 MWh
Výroba	2028	0,60 %	95,70 %	99,34 MWh
Výroba	2029	0,60 %	95,10 %	98,72 MWh
Výroba	2030	0,60 %	94,50 %	98,10 MWh
Výroba	2031	0,60 %	93,90 %	97,48 MWh
Výroba	2032	0,60 %	93,30 %	96,85 MWh
Výroba	2033	0,60 %	92,70 %	96,23 MWh
Výroba	2034	0,60 %	92,10 %	95,61 MWh
Výroba	2035	0,60 %	91,50 %	94,98 MWh
Výroba	2036	0,60 %	90,90 %	94,36 MWh
Výroba	2037	0,60 %	90,30 %	93,74 MWh
Výroba	2038	0,60 %	89,70 %	93,12 MWh
Výroba	2039	0,60 %	89,10 %	92,49 MWh
Výroba	2040	0,60 %	88,50 %	91,87 MWh
Výroba	2041	0,60 %	87,90 %	91,25 MWh
Výroba	2042	0,60 %	87,30 %	90,62 MWh
Výroba	2043	0,60 %	86,70 %	90,00 MWh
Výroba	2044	0,60 %	86,10 %	89,38 MWh
Výroba	2045	0,60 %	85,50 %	88,76 MWh
Výroba	2046	0,60 %	84,90 %	88,13 MWh
Výroba	2047	0,60 %	84,30 %	87,51 MWh
Výroba	2048	0,60 %	83,70 %	86,89 MWh
Výroba	2049	0,60 %	83,10 %	86,26 MWh
<b>Výroba celkem</b>				<b>2 346,07 MWh</b>
<b>Průměrná roční produkce</b>				<b>93,84 MWh</b>

Nákladová cena na vyrobenou kWh je vypočtena jako celková investice dělená objemem vyrobené elektřiny za životnost elektrárny. Při předpokládané nákladové výrobní ceně energie 0,50 Kč za kWh (tedy 17,25 €/MWh při kurzu 25,50 Kč/ €) lze odhadnout, že celkový ekonomický přínos z využití a prodeje vyrobené elektřiny bude významný.

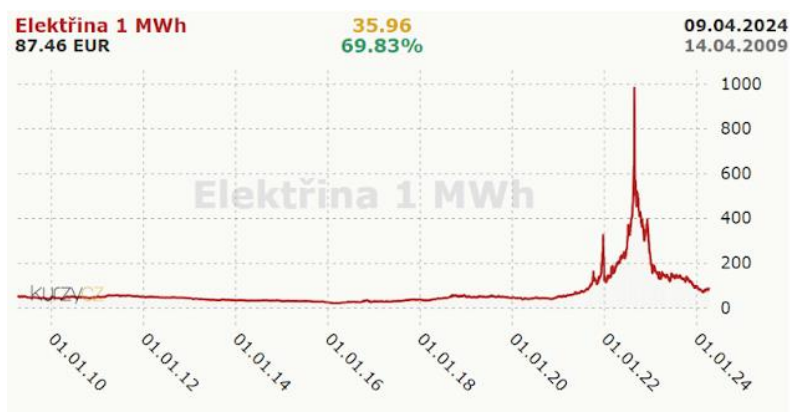
<sup>113</sup> Vlastní zpracování

Jedná se totiž o částku násobně nižší, než je dlouhodobá cena elektřiny na trhu. Pro zhodnocení finanční životaschopnosti projektu a pro investory je toto porovnání základním kritériem pro rozhodování o jeho realizaci.

TABULKA 3: PREDIKCE NÁKLADOVÉ CENY VYROBENÉ ELEKTŘINY<sup>114</sup>

Investice celkem		1 171 496 Kč
Odhadovaná produkce za životnost	25 let	2 346,1 MWh
Předpokládaná cena za kWh		0,50 Kč/kWh
Počáteční roční produkce		103,8 MWh
Průměrná roční produkce za prvních 5 let		100,5 MWh
Střední roční produkce		93,84 MWh

GRAF 6: PRŮMĚRNÉ CENY ELEKTŘINY V EURECH ZA POSLEDNÍCH 15 LET<sup>115</sup>



Vzhledem ke geopolitickému vývoji za poslední 2 roky je predikování budoucí tržní ceny elektřiny velmi náročná disciplína. Do začátku invaze Ruska na Ukrajinu byly ceny elektřiny dlouhodobě velmi stabilní a oscilovaly kolem 40 €/MWh, což je stále vyšší hodnota než v našem vzorovém projektu. Cenová hladina ze srpna roku 2022, která činila více jak 1 000 €/MWh, byla naopak zcela mimo realitu. Návratnost tohoto projektu by se při takové ceně zkrátila na pouhé měsíce.

## Rizika

Jako každá investice do technologie i agrovoltaika má svá rizika. Výrobci modulů obvykle poskytují záruku na výrobní vady modulů, která je ale kratší než záruka na udržení jejich výkonu. Tento přístup znamená, že pokud dojde k vypršení základní záruky a modul přestane vyrábět, nelze obvykle uplatnit záruku na výkon. Výrobce těchto modulů poskytuje záruku na výrobní vady 15 let, takže závady v posledních 10 letech produkce nebudou kryty zárukou. Vzhledem k pokroku technologie lze ale očekávat, že případný repowering, tedy doplnění, resp. osazení nových modulů by bylo násobně levnější, než je současná investice, takže bude vytvořena rezerva v rámci provozních nákladů na údržbu a servis.

<sup>114</sup> Vlastní zpracování

<sup>115</sup> Elektřina denní graf komodita. Online. In: *G.kurzy*. Dostupné z: <https://g.kurzy.cz/graf-komodita/cena-elektřiny-eur-670-350-15let.svg>. [cit. 2024-04-18].

Dalším rizikem je poškození přírodními událostmi nebo vandaly, které je možné pojistit, což bude zahrnuto do provozních nákladů (OPEX)

Většina komponentů elektrárny je připravena na životnost přesahující 25 let. Komponent, který není na takový cyklus připraven je střídač. Dnes můžeme odhadovat životnost tohoto zařízení na přibližně 12 let, při 10leté záruce poskytované výrobcem.

### **Repowering**

Je pravděpodobné, že po skončení životnosti střídačů budou dostupné moduly s výrazně vyšší účinností, např. ve formě samolepící folie, která půjde nainstalovat na existující moduly. Lze tedy očekávat tzv. repowering, tedy vylepšení stávající elektrárny s použitím stávajících konstrukcí a kabeláže. Právě z tohoto důvodu v kalkulaci zanedbáme náklad na nové střídače, který by mohl být násobně kompenzovaný zvýšeným výnosem z repoweringu. Pro úplnost lze očekávat, že cena nového střídače o stejném výkonu bude za 12 let přibližně třetinová, tedy asi 76 500 Kč. Snížení ceny vychází z historického vývoje a predikce rozvoje polovodičových materiálů účinnější než Gallium-nitride (GaN). V případě, že by se nevyplatil repowering, např. při významné poklesu cen elektřiny, by tento náklad měl být řešitelný v rámci úspor provozních nákladů.

### **Analýza návratnosti investice**

Analýza návratnosti investice do solární elektrárny ukazuje, že projekt je z finančního hlediska atraktivní. Počáteční investice do projektu činí 1 171 496 Kč. Střední cena silové elektřiny na následujících 25 let je predikována na 2,29 Kč/kWh vypočtená jako celková predikovaná hodnota vyrobené elektřiny ve výši 5 377 101 Kč dělená jejím množstvím 2 346,1 MWh. Splacení investice je očekáváno již po vyprodukování 511,1 MWh (celková cena investice dělená střední cenou elektřiny). Při uvažované průměrné roční produkci v prvních letech bude návratnost investice dosažena přibližně za 5 let.

Vnitřní výnosové procento (IRR) projektu je 20,5 %, to představuje velmi vysokou úroveň rentability ve srovnání s běžnými investičními příležitostmi. Toto číslo ukazuje, že projekt generuje silný a stabilní výnos z investovaného kapitálu.

Výnosy z projektu v jednotlivých letech se liší v závislosti na ceně MWh na trhu a na roční produkci, která mírně klesá s postupujícím stárnutím solární elektrárny. Například v roce 2025 je očekáván výnos 285 854 Kč z produkce 103,81 MWh při ceně 2 850 Kč/MWh, zatímco v roce 2049 je očekáván výnos 165 635 Kč z produkce 86,26 MWh při ceně 2 036 Kč/MWh. Tato variabilita ve výnosech odráží změny na trhu s elektřinou a předpokládaný pokles výkonnosti solární elektrárny s časem. Přesto celková výnosnost projektu a rychlá návratnost investice naznačují, že agrovoltaika je ekonomicky životaschopným projektem s potenciálem generovat značný finanční přínos pro investory. Nezanedbatelným přínosem je zajištění vlastní energetické bezpečnosti, protože výroba je závislá pouze na slunečním svitu (za předpokladu funkční elektrárny při minimální údržbě).

TABULKA 4: KALKULACE NÁVRATNOSTI INVESTICE AGROVOLTAICKÉHO SYSTÉMU<sup>116</sup>

Odhadovaná produkce za životnost	25 let	2 346,1 MWh
Střední cena silové elektřiny na trhu		2,29 Kč/kWh
Hodnota vyrobené elektřiny		5 377 101 Kč
Splacení investice po		511,1 MWh
<b>Návratnost investice</b>		
		<b>5,06 let</b>
<b>Diskont</b>		
		<b>15,2 %</b>
<b>Vnitřní výnosové procento</b>		
		<b>20,5 %</b>

---

<sup>116</sup> Vlastní zpracování



TABULKA 5: DETAILNÍ PRŮBĚH PRODUKCE A CASHFLOW<sup>117</sup>

Položka	Rok	Cena Kč/MWh	Produkce	Zisk	Cashflow	Inflace	Efekt inflace
Investice					-1 171 496 Kč		
1. rok	2025	2 850 Kč	103,81 MWh	285 854 Kč	-895 642 Kč	5 %	-58 575 Kč
2. rok	2026	3 343 Kč	100,59 MWh	326 273 Kč	-579 369 Kč	5 %	-44 782 Kč
3. rok	2027	2 807 Kč	99,97 MWh	270 608 Kč	-318 761 Kč	5 %	-28 968 Kč
4. rok	2028	2 442 Kč	99,34 MWh	232 599 Kč	-96 162 Kč	5 %	-15 938 Kč
5. rok	2029	2 248 Kč	98,72 MWh	211 926 Kč	105 765 Kč	5 %	-4 808 Kč
6. rok	2030	2 705 Kč	98,10 MWh	255 357 Kč	351 122 Kč	<b>investice splacena</b>	
7. rok	2031	2 168 Kč	97,48 MWh	201 328 Kč	542 450 Kč		
8. rok	2032	1 495 Kč	96,85 MWh	134 795 Kč	667 245 Kč		
9. rok	2033	1 975 Kč	96,23 MWh	180 055 Kč	837 300 Kč		
10. rok	2034	2 178 Kč	95,61 MWh	198 233 Kč	1 025 533 Kč		
11. rok	2035	1 658 Kč	94,98 MWh	147 484 Kč	1 163 017 Kč		
12. rok	2036	2 587 Kč	94,36 MWh	234 114 Kč	1 387 131 Kč		
13. rok	2037	1 929 Kč	93,74 MWh	160 822 Kč	1 527 953 Kč		
14. rok	2038	2 149 Kč	93,12 MWh	180 106 Kč	1 688 059 Kč		
15. rok	2039	2 714 Kč	92,49 MWh	231 026 Kč	1 899 086 Kč		
16. rok	2040	2 215 Kč	91,87 MWh	183 493 Kč	2 062 579 Kč		
17. rok	2041	2 080 Kč	91,25 MWh	169 795 Kč	2 212 373 Kč		
18. rok	2042	2 132 Kč	90,62 MWh	173 212 Kč	2 365 585 Kč		
19. rok	2043	2 481 Kč	90,00 MWh	203 294 Kč	2 548 879 Kč		
20. rok	2044	2 258 Kč	89,38 MWh	181 818 Kč	2 710 697 Kč		
21. rok	2045	2 131 Kč	88,76 MWh	169 139 Kč	2 859 836 Kč		
22. rok	2046	2 245 Kč	88,13 MWh	177 859 Kč	3 017 695 Kč		
23. rok	2047	2 450 Kč	87,51 MWh	204 400 Kč	3 212 095 Kč		
24. rok	2048	1 817 Kč	86,89 MWh	147 875 Kč	3 349 970 Kč		
25. rok	2049	2 036 Kč	86,26 MWh	165 635 Kč	3 505 605 Kč		
<b>Průměrná cena</b>		<b>2 292 Kč</b>					
<b>Výroba celkem</b>			<b>2 346,1 MWh</b>				
<b>Průměrná roční výroba elektřiny</b>			<b>93,84 MWh</b>				
<b>Příjem celkem očištěný o provozní náklady</b>				<b>5 377 101 Kč</b>			
<b>Čistý budoucí výnos očištěný o inflaci investice</b>				<b>3 352 533 Kč</b>			<b>-153 071 Kč</b>

<sup>117</sup> Vlastní zpracování

Ceny elektřiny v budoucích letech jsou stanoveny spíše konzervativně. S ohledem na očekávaný technologický vývoj v akumulaci energie, předpokládáme pozvolné snižování cen na trhu. Předpoklad, že by došlo k razantnímu poklesu ceny elektřiny by znamenal razantní výpadek v cashflow všech stávajících provozovatelů, to by naopak mohlo vést k následnému rozkolísání ceny na trhu. V případě, že by cena energie v budoucnu skutečně klesala razantněji, vlastnit energetický zdroj je k nezaplacení.

### **Baterie a služby výkonové rovnováhy**

Systém je vybaven hybridními střídací, tedy takovými, které mohou přímo ukládat energii do baterie v režimu DC-DC, tedy s vysokou účinností. AC coupling, kdy probíhá konverze DC (ze solárních modulů) na AC a zpět z AC teprve do DC baterie má nižší účinnost a vyžaduje další hardware. S investicí do baterie v rámci projektu připravujeme, ale v kalkulaci není zahrnuta. Prostor v kontejneru bude vyčleněn a baterii bude možné dle potřeby doplnit v budoucnu a její velikost případně škálovat dle potřeby akumulace v místě spotřeby nebo v rámci komunity. Investiční náklady budou případně pokryty z příjmů generovaných z dodávky elektřiny ve špičce (kdy je elektřina dražší) a z poskytování služeb výkonové rovnováhy pro ČEPS, a.s., které vygenerují další příjmy.

Díky schopnosti baterií uložit přebytečnou elektrickou energii vyrobenou fotovoltaickými moduly v době nízké spotřeby a uvolnit ji zpět do sítě v momentě vysoké poptávky, nabízí bateriová úložiště flexibilní řešení pro zvýšení efektivity a ekonomické návratnosti agrovoltaických projektů. Tato strategie nejenže podporuje stabilitu sítě, ale také umožňuje maximalizovat využití obnovitelných zdrojů a generovat příjmy z prodeje energie v časech jejího vyššího ocenění.

### **Provozní náklady**

Provozní náklady (OPEX) jsou minimální. Vertikální moduly není třeba čistit, náklady na sečení trávy jsou kompenzovány výnosem ze sena. Za účelem vytváření rezerv je počítáno s 10 000 Kč za rok až do 12. roku, následně 20 000 Kč do 22. roku a poté opět snížení na udržovacích 10 000 Kč. Celkový náklad na provoz tedy odhadujeme na 350 000 Kč.

## 5 Potenciál agrovoltaiky v ČR

Agrovoltaika nabízí významný potenciál pro celou Českou republiku. Pokud by bylo možné využít 100 % zemědělských pozemků určených pro zemědělskou produkci (zemědělství půdní fond) pro instalaci solárních modulů tak předpokládaný roční objem výroby by dosahoval přes 1 094,7 TWh.<sup>118</sup> Je to teoretická hodnota, který slouží k ilustraci potenciálu této technologie. Skutečná výroba by závisela na řadě faktorů, včetně efektivity budoucích modulů, místních klimatických podmínek a toho, jaký podíl pozemků by byl skutečně pro agrovoltaiku využit.

Pro objasnění, spotřeba elektrické energie v ČR za rok 2023 byla 57,8 TWh<sup>119</sup>. Pokud agrovoltaické systémy mohou teoreticky vyprodukovat téměř 19x více energie, než potřebujeme, znamená to, že hlavní budoucí výzvou je adekvátní mezisezonní akumulace.

Řepka se dnes pěstuje na 16 % zemědělské půdy a zhruba polovina ji skončí v nádržích naftových aut ve formě methylesteru řepkového oleje (MEŘO), tedy bionafty. Každý 1 m<sup>2</sup> řepkového pole pomůže získat 0,15 litru biodieselu. Když ho spálíme v motoru s průměrnou spotřebou 5 l / 100 km, ujedeme zhruba 3 km. Reálně to bude ještě méně, protože zhruba polovinu z této energie spotřebujeme na její zpracování. Reálná vzdálenost by byla zhruba poloviční, takže asi 1,5 km na každý 1 m<sup>2</sup>. Pro srovnání, pokud zajistíme výrobu elektrické energie pomocí agrovoltaiky s rozestupem řad 12 m, kde roste tráva, tak vyrobíme přibližně 32 kWh/m<sup>2</sup> za rok. Pokud tuto elektřinu využijeme v elektromobilu s průměrnou spotřebou 16 kWh / 100 km (včetně ztrát), tak získáme vzdálenost 200 km za rok z každého 1 m<sup>2</sup> agrovoltaiky (závisí na lokaci a efektivitě modulu).

Toto srovnání ukazuje na výrazně vyšší efektivitu využití fotovoltaické energie pro pohon vozidel ve srovnání s biodieselem.

Pokud bychom použili přibližně 5 % výměry pozemků určených pro zemědělskou produkci na instalaci agrovoltaiky, téměř by to stačilo na pokrytí roční spotřeby elektrické energie. Museli bychom ale disponovat mezisezonní akumulací s účinností 20 % pro dlouhodobé uchování energie. Pro využití solární energie jako stabilního zdroje energie je klíčová akumulace s co nejvyšší vysokou účinností a nízkou cenou, aby se překlenulo období s nedostatečnou produkcí energie (například v noci nebo zimních měsících).

S dostatečnou kapacitou pro výrobu a akumulaci energie by Česká republika mohla teoreticky dosáhnout vysoké úrovně energetické soběstačnosti za předpokladu, že by se podařilo efektivně implementovat systémy krátkodobé a dlouhodobé akumulace elektrické energie.

Ačkoliv je potenciál agrovoltaiky v ČR obrovský, realizace takového scénáře by vyžadovala řešení řady výzev, včetně technologického vývoje, financování, regulace a potenciálního dopadu na zemědělství. Je třeba pečlivě zvážit, jak nejlépe integrovat solární moduly

---

<sup>118</sup> HÁJEK, PH.D., Ing. David. *AgroPV – vliv na výnosy, zkušenosti z Evropy a z ČR*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., 2023.

<sup>119</sup> Češi loni pokračovali v šetření elektřinou, spotřeba se snížila o 4,1 %. Online. *Energetický regulační úřad*. 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/cesi-loni-pokracovali-v-setreni-elektrinou-spotreba-se-snizila-o-41>. [cit. 2024-04-11].

s existujícími zemědělskými činnostmi, aby bylo zajištěno, že zemědělská produkce nebude negativně ovlivněna.

Výzkum a pilotní projekty v oblasti agrovoltaiky mohou pomoci určit optimální způsoby, jak maximalizovat výrobu solární energie při současném zachování nebo dokonce zlepšování zemědělské produktivity. Tato synergie mezi zemědělstvím a výrobou energie by mohla hrát klíčovou roli v přechodu České republiky na udržitelnější energetický mix.

## 5.1 Plochy pro instalaci

Tabulka potenciálu plochy pro instalaci agrovoltaiky vychází z výměr uvedených v ročence zemědělské půdy Českého statistického úřadu, který čerpá z katastru nemovitostí. Půda je rozdělena podle typů kultivované plochy a jejich vhodnosti pro instalaci solárních modulů. Každý typ kultury je hodnocen podle toho, kolik kilowattů špičkového výkonu ( $kW_p$ ) lze teoreticky instalovat na jeden hektar (ha) daného typu plochy, a následně je zde uveden celkový potenciál v gigawatttech peak ( $GW_p$ ) na základě celkové dostupné plochy v hektarech.

TABULKA 6: PŘEHLED MAXIMÁLNÍHO POTENCIÁLU PLOCH PRO AGROVOLTAIKU V ČR<sup>120</sup>

Plochy podle kultur	Krytí	$kW_p/ha$	Celkem	
			ha	$GW_p$
Orná půda (R)	90,00 %	393	2 910 699	1 030
Travní porost (T)	90,00 %	393	1 034 857	366
Vinice (V)	80,00 %	450	2 0307	7
Chmelnice (C)	0,00 %	0	8 843	0
Ovocný sad (S)	80,00 %	450	4 3041	15
Vodní plocha	75,00 %	1000	169 974	127
<b>Celkem</b>			<b>4 187 721</b>	<b>1 546</b>

Vodní plocha je uvedené jako dodatečná výměra pro potenciální plovoucích instalací. Stínění by pomohlo snížit odpar v letních měsících a snížit teplotu vody a udržet v ní více kyslíku.

## 5.2 Rozložení výroby v průběhu roku

V rámci úvah o budoucnosti energetiky v ČR můžeme uvažovat o 5 % osazení zemědělské půdy agrovoltaikou pro dosažení energetické soběstačnosti bez fosilních paliv. Jednalo by se o instalaci 77,29  $GW_p$ , které by zvládly vyrobit nejméně 48,09 TWh, což ve spojení se stávajícími jadernými a dalšími nízkoemisními zdroji a akumulací vedlo k pokrytí 99,83 % aktuální spotřeby. Samozřejmě lze uvažovat, že v budoucnu spotřeba bude růst, ale okolní země budují nové jaderné, solární, ale i větrné zdroje, takže lze předpokládat, že přebytky pro mezisezonní akumulaci budou značné. Jedná se o demonstrativní bilanci, která ukazuje velký potenciál agrovoltaiky při zhruba třetinové výměře ve srovnání s pěstební plochou řepky.

<sup>120</sup> Vlastní zpracování

Níže zpracovaná tabulka představuje přehled stávající a potenciální výroby energie z nízkoemisních a obnovitelných zdrojů v České republice, rozdělený po měsících, založený na datech z minulého roku.

Pokud je v měsíci zjištěn přebytek, je s 20 % účinností započítán pro mezisezonní akumulace na pokrytí měsíců s negativní bilancí.

TABULKA 7: SOUČASNÁ ENERGETICKÁ BILANCE ČR PŘI ZAPOČTENÍ 5 % AV<sup>121</sup>

Měsíc	Celková spotřeba	Výroba nízkoemisních zdrojů	Potenciální výroba AV	Procento pokrytí AV	Bilance pokrytí spotřeby	Bilance pro mezisezonní akumulaci
Leden	6,49 TWh	3,88 TWh	1,56 TWh	40,33 %	1,05 TWh	-1,05 TWh
Únor	5,99 TWh	3,61 TWh	2,37 TWh	65,48 %	0,01 TWh	-0,01 TWh
Březen	6,19 TWh	3,49 TWh	4,14 TWh	118,54 %	-1,44 TWh	0,29 TWh
Duben	5,58 TWh	2,96 TWh	5,32 TWh	179,40 %	-2,70 TWh	0,54 TWh
Květen	5,24 TWh	2,48 TWh	6,40 TWh	258,23 %	-3,65 TWh	0,73 TWh
Červen	4,99 TWh	2,33 TWh	5,83 TWh	250,04 %	-3,18 TWh	0,64 TWh
Červenec	4,95 TWh	2,11 TWh	6,64 TWh	313,96 %	-3,80 TWh	0,76 TWh
Srpen	5,14 TWh	2,35 TWh	5,81 TWh	246,81 %	-3,03 TWh	0,61 TWh
Září	5,07 TWh	2,37 TWh	4,78 TWh	201,60 %	-2,07 TWh	0,41 TWh
Říjen	5,59 TWh	2,82 TWh	2,85 TWh	101,06 %	-0,09 TWh	0,02 TWh
Listopad	5,96 TWh	3,27 TWh	1,49 TWh	45,58 %	1,20 TWh	-1,20 TWh
Prosinec	6,20 TWh	3,41 TWh	0,90 TWh	26,38 %	1,88 TWh	-1,88 TWh
<b>Celkem</b>	<b>67,37 TWh</b>	<b>35,10 TWh</b>	<b>48,09 TWh</b>	<b>99,83 %</b>	<b>-15,82 TWh</b>	<b>-0,14 TWh</b>

<sup>121</sup> Vlastní zpracování

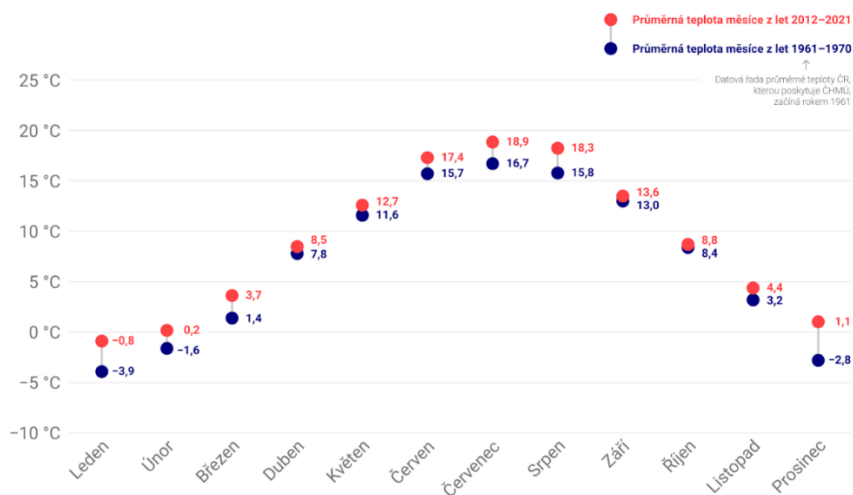
## 6 Příležitosti a výzvy agrovoltaiky v ČR

V kontextu České republiky představují agrovoltaické systémy zajímavý přístup k integraci solární energie a zemědělství na jednom pozemku nabízející významný potenciál pro zvýšení energetické nezávislosti země, zlepšení efektivity využití půdy a podporu zemědělské produkce. Tento koncept umožňuje současnou produkci elektrické energie a zemědělské činnosti na stejné ploše, čímž maximalizujeme využití dostupných zdrojů. Kromě zvýšení energetické soběstačnosti může implementace agrovoltaických systémů významně přispět ke snížení závislosti České republiky na dovozu energie, a tím dosáhnout větší energetické bezpečnosti v budoucnu.

Agrovoltaické systémy mohou být zvláště prospěšné v obdobích extrémního počasí. Solární moduly poskytují stín pro plodiny, který pomáhá minimalizovat stres z tepla a redukovat ztrátu vody. Díky tomu může dojít k vyšší úrodě a lepší kvalitě plodin. Tím se zemědělským podnikům otevírá možnost generovat dodatečný příjem z prodeje vyrobené elektrické energie, a tedy zvyšovat jejich finanční stabilitu a odolnost vůči ekonomickým fluktuacím.

Změna klimatu způsobená lidskou činností nedopadá na různé regiony planety stejně. V polárních oblastech je oteplení nejcitelnější a odtávání ledu zvyšuje albedo území, čímž ještě urychluje globální oteplování. Na našem území došlo od roku 1961 k nárůstu průměrné teploty již o více jak 2 °C, takže začínají být zasaženy i zemědělské plodiny. Vyšší teplota sice prodlužuje vegetační období, ale na druhou stranu začínají být letní měsíce velmi horké a bez vláh, takže celková produkce biomasy na travních porostech výrazněji kolísá. Cílené zastínění fotovoltaickými moduly, především v dopoledních hodinách umožní delší čas absorpci ranní rosy do podrostu a půdy a současně zkrátí expozici pro odpar v odpoledních hodinách.

GRAF 7: PRŮMĚRNÁ TEPLOTA V ČR V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH<sup>122</sup>



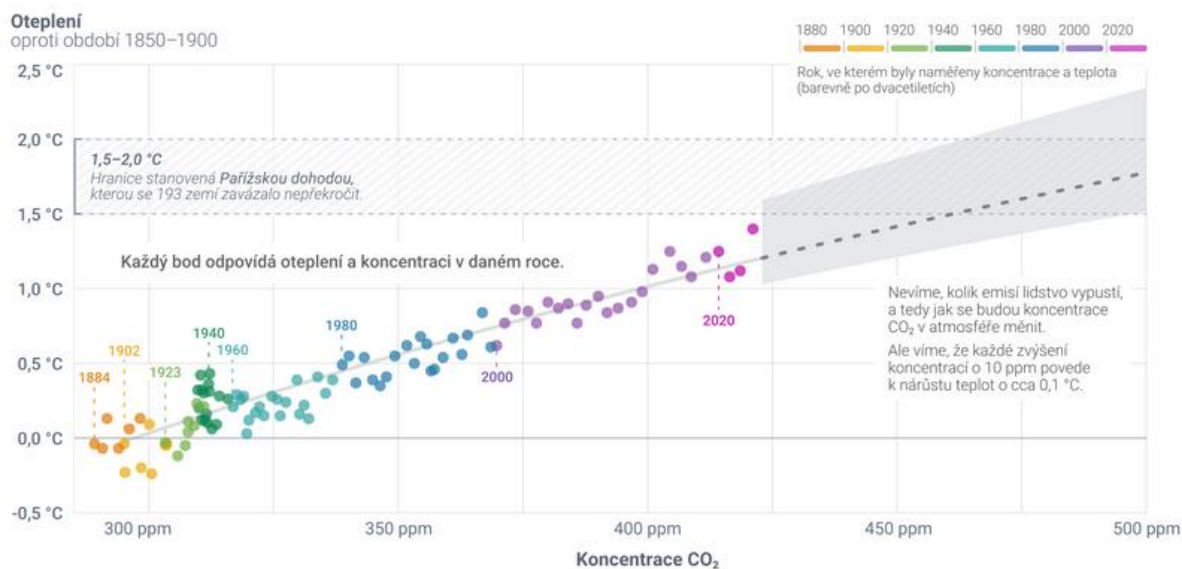
Snížení ceny elektřiny umožní ekonomický rozvoj, a především energetickou resilienci, tedy odolnost proti výkyvům cen elektřiny na trhu, protože zdroj bude predikovatelně vyrábět po několik desetiletí a prakticky bez údržby. Současně bude zachována produkce sena a senáže na dotčeném půdním bloku.

<sup>122</sup> Průměrná teplota v ČR v jednotlivých měsících. Online. Fakta o klimatu. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplota-cr-mesice>. [cit. 2024-04-01].

Z hlediska environmentální udržitelnosti agrovoltaika přispívá ke snížení emisí skleníkových plynů tím, že podporuje výrobu a využití obnovitelné energie. Toto snížení závislosti na fosilních palivách a snižování emisí CO<sub>2</sub> je klíčové pro boj proti globální změně klimatu a podporu přechodu k ekologičtější a udržitelnější společnosti.

OBRÁZEK 38: SOUVISLOST KONCENTRACE CO<sub>2</sub> A GLOBÁLNÍHO OTEPLOVÁNÍ<sup>123</sup>

Čím vyšší jsou koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře, tím vyšší je teplota planety.  
Jak vysoké koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře budou, záleží na tom, kolik emisí lidstvo vypustí.



Koncentrace CO<sub>2</sub> se měří v ppm (parts per million, tedy počet částic na milion). Koncentrace 400 ppm CO<sub>2</sub> znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO<sub>2</sub>. Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) přispívá ke globálnímu oteplení ze všech skleníkových plynů nejvýrazněji. Skleníkový efekt se zesiluje a CO<sub>2</sub> odpovídá za 70 % tohoto zesílení.

Přestože agrovoltaika přináší mnoho potenciálních výhod, projektanti a provozatelé takových systémů čelí řadě výzev. Vyšší počáteční investiční náklady na instalaci solárních modulů a související infrastrukturu mohou být pro mnoho zemědělců a malých podniků bariérou, která lze řešit pomocí úvěrového financování a dotací. Dále je pro maximalizaci efektivity zemědělské a energetické produkce nezbytné řešit technické a designové výzvy spojené s optimalizací agrovoltaických systémů. Tyto systémy vyžadují pokročilé technologické řešení a inovace pro dosažení synergického efektu mezi produkcí energie a zemědělstvím, které může znamenat potřebu výzkumu, vývoje a testování nových technologií a metod.

Vzhledem k těmto výzvám je důležité, aby byly politiky a podpůrné mechanismy navrženy tak, aby podporovaly adopci agrovoltaických technologií, a to poskytováním finančních stimulů, dotací a technické podpory potřebné pro překonání počátečních překážek a pro zajištění úspěšného a efektivního provozu.

Existující zákony a předpisy v mnoha případech omezují nebo dokonce brání využívání zemědělské půdy pro instalaci solárních modulů. Tyto předpisy jsou založeny na ochraně zemědělského území, rázu území, zajištění potravinové bezpečnosti nebo na zachování přírodního a kulturního dědictví. Aby bylo možné solární moduly na takových půdách stavět, je často nutné získat výjimky nebo projít složitými administrativními procesy, to

<sup>123</sup> Souvislost koncentrace CO<sub>2</sub> a globálního oteplení. Online. Fakta o klimatu. 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/souvislost-koncentrace-oteplovani>. [cit. 2024-04-20].

může projekt zdržet nebo zvýšit jeho náklady. Proto je cílem odlišný povolovací proces od fotovoltaických elektráren na zemědělské půdě.

Kapacita distribučních sítí může být lokálně omezená, což komplikuje připojení nových zdrojů obnovitelné energie, včetně agrovoltaických systémů. Modernizace a rozšíření distribučních soustav vyžadují významné investice a čas, a to jak ze strany státních, tak soukromých subjektů. Bez adekvátních investic do infrastruktury mohou být omezeny možnosti pro efektivní distribuci vyrobené solární energie. Zajímavou novinkou bude od poloviny roku 2024 je možnost snížení garance dostupnosti rezervovaného výkonu na 95 %, který umožní připojit více zdrojů a ty mohou být ve špičce regulovány tak, aby nedošlo k přetížení sítě. Dle odhadů distributorů se tím výrazně zvýší možnost připojení nových zdrojů prakticky ve všech lokalitách.

Pro široké přijetí agrovoltaiky je klíčové zajistit, aby zemědělci a široká veřejnost byli dobře informováni o jejich výhodách a možných kompromisech. To zahrnuje pochopení, jak agrovoltaické systémy mohou zvýšit produkci obnovitelné energie při současném zachování nebo dokonce zlepšení zemědělské produkce. Edukace a osvěta mohou pomoci rozptýlit obavy a předsudky a ukázat přínosy takové integrace pro životní prostředí, ekonomiku a společnost.

Úspěšná implementace agrovoltaických systémů vyžaduje inovace, spolupráci mezi veřejným a soukromým sektorem a vytvoření příznivého regulačního a investičního prostředí. Inovace mohou zahrnovat vývoj efektivnějších solárních technologií, které lépe koexistují se zemědělskou činností, nebo vývoj nových obchodních modelů, které zemědělcům umožňují těžit z instalace solárních modulů na jejich půdě. Spolupráce mezi státem a soukromým sektorem může pomoci překonat finanční a technické bariéry, zatímco příznivé regulační a investiční prostředí může usnadnit získání potřebných povolení a zvýšit atraktivitu agrovoltaiky pro investory.



## 7 Shrnutí a doporučení

Kalkulace vzorového projektu prokázaly, že agrovoltaika je ekonomicky odolné řešení výroby elektrické energie se zachováním zemědělské produkce na stejné půdě. Při investici v objemu 1 171 496 Kč zvládne za svou životnost 25 let vyrobit přes 2 346,1 MWh elektřiny v predikované budoucí ceně 5 377 101 Kč. Velmi nízké náklady, minimální údržba a decentralizace výroby pomáhají racionalizovat návratnost například oproti jaderným zdrojům, kde je sice životnost delší, ale rentabilita nemusí být nikdy dosažena, především při poklesu cen elektřiny nebo snížení nákladů na akumulaci. Návratnost vzorového AV projektu je odhadována na 5 let, to je období, kdy je jisté, že neproběhnou žádné zásadní změny, které by snížily cenu elektřiny na trhu. Při životnosti přesahující 25 let, může AV provozovatelům zajistit zajímavý výnos i v budoucnu, například při snížení cen silové elektřiny, a především energetickou soběstačnost. Vzorový projekt se bude realizovat i z důvodu motivace investora, zemědělce, zajistit si energetickou resilienci. Připravenost hybridních střídačů na připojení baterie je vhodným krokem, který umožní v budoucnu instalovat k systému baterie, které pomohou AV zdroj elektřiny stabilizovat a umožní jeho lepší řízení. Vzhledem k rostoucím výrobním kapacitám, ceny baterií trvale klesají a také se prodlužuje jejich životnost, to ještě více podpoří ekonomiku celého projektu s akumulací. Osazení baterií je v plánu s rozšířením projektu, protože dle odhadů bude v současném rozložení všechna elektřina spotřebována v místě pro potřeby investora a v rámci komunity.

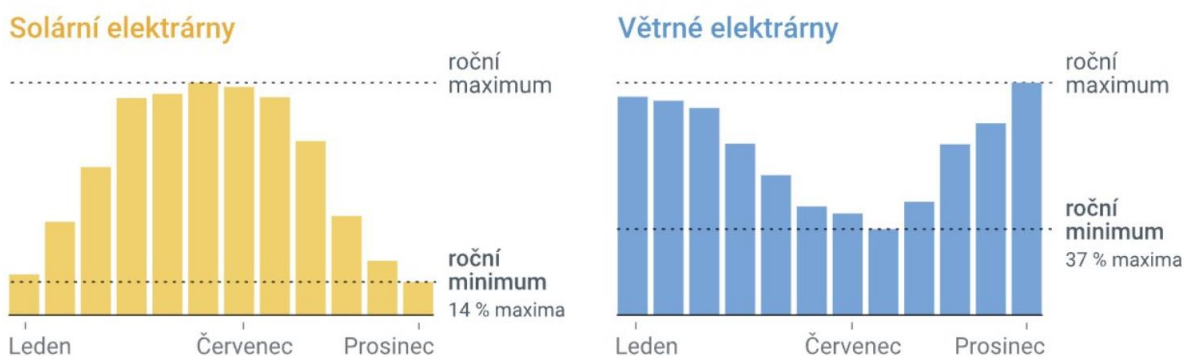
Změny na trhu s elektřinou a energetická bezpečnost jsou pro mnoho investorů hlavní motivací pro budování nových zdrojů energie. Skutečnou cenu elektřiny pozná odběratel až v okamžiku, kdy je elektřiny nedostatek a jsou dotčeny běžné provozní činnosti, jež bez elektřiny nelze realizovat. Ať už je to čerpání vody, osvětlení, dobíjení aut, provoz komunikačních sítí a mnoho dalších činností.

Už několik dekád se čeká na přelomové technologie pro získávání elektrické energie. Budoucnost se upíná především k jaderné fúzi, ale se stárnutím současných štěpných reaktorů začíná být problém i s jejich pouhým nahrazením. Příkladem může být dostavba jaderné elektrárny Dukovany, která bude vzhledem k předpokládanému termínu dokončení spíše jen nahrazením výkonu stávajících dosluhujících reaktorů. Z tohoto pohledu je fotovoltaika takový energetický vrabec v hrsti, který je jistější než čekání na přelomové technologie, které mohou přijít až za desítky let, ať už se jedná o fúzi nebo reálnější malé modulární reaktory. Přeci jen je ve Sluneční soustavě naše Slunce nejspolehlivějším zdrojem. Funguje nepřetržitě už přes 4,6 miliardy let a další miliardy ještě spolehlivě fungovat bude.

Fotovoltaika, speciálně agrovoltaika, má spolu s jadernou energetikou nejvyšší potenciál pro výrobu nízkoemisní elektřiny na našem území, ale bude zásadní podporovat i větrnou energii, jež vhodně doplní období, kdy slunce nesvítí a umožní lépe využívat potenciál akumulace na více cyklů ročně. Hybridní agrovoltaika, tedy kombinovaná s větrnými zdroji a akumulací má potenciál dovést energetiku k nízkouhlíkové budoucnosti při zachování územní energetické soběstačnosti.

OBRÁZEK 39: VÝROBA SOLÁRNÍ A VĚTRNÉ ELEKTŘINY V PRŮBĚHU ROKU<sup>124</sup>

Průměrná výroba po měsících za roky 2015–2020



Česká republika disponuje desítkami tisíc hektarů a pouze malé procento, přibližně 5 %, půdy využitá pro agrovoltaiku by pomohlo zajistit energetickou soběstačnost našeho státu. Stojíme před nutností nahradit končící uhelné zdroje a vzhledem k postupující elektrifikaci dopravy také očekáváme další nárůst spotřeby elektřiny.

Vzhledem k nárůstu instalovaných výkonů obnovitelných zdrojů to naštěstí vypadá, že v rámci Evropy bude elektřiny dostatek, ale poměrně zásadně zaostává budování systémové akumulace. Její absence posílá ceny elektřiny k nule, nebo dokonce i do záporných hodnot častěji než kdykoliv předtím. Čím více občasných zdrojů elektřiny, tím vyšší volatilita ceny, pokud nebude budována ruku v ruce i adekvátní akumulace. Dosavadní rekord 134 hodin negativní ceny elektřiny (to znamená, že za spotřebu elektřiny dostanete odběratel zaplacen) z roku 2023 bude pravděpodobně překonán již do poloviny letošního roku, tedy před podzimní větrnou sezónou, a to proto, že chybí dostatečná akumulace a elektřiny bývá častěji v síti více, než jsme schopni spotřebovat.

V budoucnu se Česká republika pravděpodobně stane dovozcem elektřiny, a to může být rizikové, protože na dovoz se spoléhají i okolní státy. Exportně je založená jaderná Francie, ta ale nemůže nahradit výpadek výroby uhlí z celé Evropy. Nové jaderné zdroje v Polsku opět pouze nahrazují jejich vlastní současnou uhelnou produkci, a proto bude nutné se na národní úrovni rozhodnout, jestli chceme být i nadále energeticky soběstační. Pokud bychom rozvíjeli akumulační kapacity, nemusíme nutně všechnu elektřinu vyrobit na našem území, ale můžeme efektivně odebírat přebytky a vracet je do sítě v době špičky. Česko má podmínky stát se baterií Evropy a vydělat na tom.

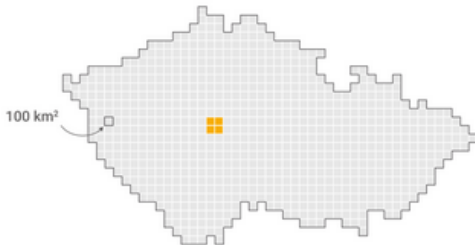
<sup>124</sup> Výroba energie ze slunce a větru [@faktaoklimatu]. Online. 2023, Oct 23, 2023. Dostupné z: X, <https://twitter.com/faktaoklimatu/status/1716510798368178285?s=46>. [cit. 2024-04-21].

OBRÁZEK 40: ÚZEMNÍ STOPA ELEKTŘINY ZE SLUNCE, VĚTRU A BIOMASY<sup>125</sup>

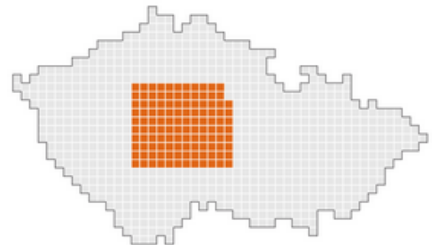
### Jak velké území v ČR by bylo potřeba na výrobu 25 TWh elektřiny ročně?

Zhruba 40 % současné spotřeby v Česku

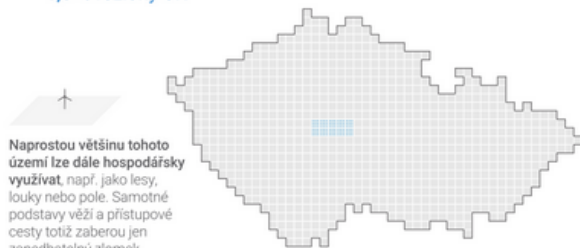
V případě **slunce (fotovoltaiky)**  
by šlo o **0,5 % rozlohy ČR**



**Biomasa (rychle rostoucí dřeviny)**  
**15 % rozlohy ČR**

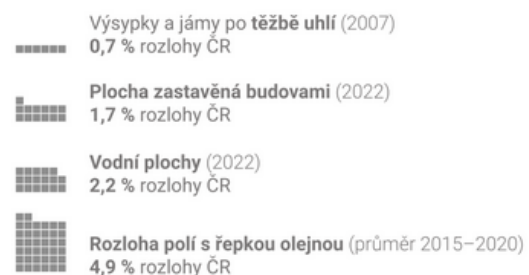


**Větr (parky větrných elektráren)**  
**1,3 % rozlohy ČR**



Naprostou většinu tohoto území lze dále hospodářsky využívat, např. jako lesy, louky nebo pole. Samotné podstavy věží a přístupové cesty totiž zaberou jen zanedbatelný zlomek uvedeného území.

#### PRO SROVNÁNÍ



19. 4. 2024 v Poslanecké sněmovně Parlamentu České republiky prošel prvním čtením zákon LEX OZE 3, který je zlomovým pro rozvoj síťové akumulace. Zástupci centralizované energetiky založené především na fosilních zdrojích, začínají chápat svou pozici, která není z dlouhodobého hlediska nákladově udržitelná narozdíl od zdrojů obnovitelných. Zpoplatněním emisí skleníkových plynů se narovnává pokřivená ekonomická realita, kdy energie uložená v uhlovodíkových vazbách po stovky milionů let je spálená pouze se zohledněním nákladů na těžbu, a nikoliv již na zpětné uložení emisí tak, aby nedocházelo k ovlivnění složení atmosféry a tím přímo ke změnám klimatu.

Hlavním doporučením je vytvoření predikovatelného prostředí pro investory, kteří budou mít rozumnou míru jistoty a byli ochotni vložit své prostředky do vybudování agrovoltaických kapacit. Potřebujeme, aby z této druhotné produkce profitovali hlavně uživatelé dané půdy a aby byla zajištěna dlouhodobá symbióza s hospodařením, nikoliv jen předstírané zemědělství pod fotovoltaickými moduly tak, aby výroba mohla dostat nálepku „agrovoltaická“. Zisk z prodeje elektřiny by měl být především obohacením rozpočtu zemědělců a obyvatel venkova, kteří pečují o svou půdu a zásadní měrou se mohou podílet na ukládání uhlíku do země, pomocí správných hospodářských postupů. Efektivní hospodaření s uhlíkem společně s dekarbonizací výroby elektrické energie umožní významné snížení emisí skleníkových plynů a současně může zvýšit sekvestraci uhlíku do půdy. Pro představu 0,1 % objemu uhlíku uloženého v evropské půdě odpovídá ročním emisím až 100 milionů aut. Společně se snižováním emisí potřebujeme i maximum uhlíku vázat v biosféře namísto atmosféry.

<sup>125</sup> Územní stopa elektřiny ze slunce, větru a biomasy. Online. *Fakta o klimatu*. 2023. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/uzemni-stop-a-oze>. [cit. 2024-04-20].

## Závěr

Agrovoltaické systémy představují inovativní a perspektivní řešení, které harmonicky propojuje výrobu obnovitelné energie a zemědělství. Integrace fotovoltaických modulů a zemědělské výroby, nejenže umožňuje efektivní využití plochy, ale také přináší řadu přínosů jak pro energetický sektor, tak pro ten zemědělský. Správně navržené agrovoltaické systémy zvyšují efektivitu využití půdy, chrání plodiny před extrémními povětrnostními vlivy, snižují potřebu zavlažování a zároveň významně přispívají k produkci čisté energie na stejném půdním bloku.

Z pohledu technických možností nejsou všechny objekty vhodné pro instalaci fotovoltaických modulů a zároveň ani 100% využití potenciálu střech a fasád by v budoucnu nezajistilo potřebnou produkci elektřiny. Stavba prosté fotovoltaiky na zemědělské půdě naopak znemožňuje zemědělskou produkci a snižuje biodiverzitu v krajině. Pro udržení energetické soběstačnosti se zachováním stávajícího objemu zemědělské výroby je agrovoltaika asi jedinou vhodnou cestou, která umožní uhlíkovou neutralitu. Navzdory těmto pozitivům však zůstává několik výzev, včetně potřeby dalšího výzkumu optimalizace designu systémů, jejich ekonomické efektivity, vydefinování jasného legislativního rámce a sociální přijatelnosti.

Zásadním nedostatkem zůstává sezónnost výroby, která je třeba řešit pomocí hybridních systému s větrným zdrojem a mezisezonní akumulací, bez které stále zůstane částečná závislost výroby elektřiny na fosilních palivech. Energetika bez uhlí a plynu je ve střednědobém horizontu nejen možná, ale i ekonomicky výhodnější. Už dnes je samotná výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů levnější než z těch fosilních, a to i před započtením emisních nákladů. Budoucí snižování objemu emisních povolenek tento trend ještě více umocní.

Vzhledem ke zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie a zároveň nutnosti zajištění potravinové bezpečnosti se agrovoltaika jeví jako slibná cesta k dosažení těchto cílů. Pro další rozvoj této technologie je však nezbytná podpora ze strany vlád, vědecké komunity a průmyslu ve formě investic do výzkumu, vývoje a demonstračních projektů. Zároveň je důležité zvýšit osvětu mezi zemědělci a veřejností o výhodách, jež agrovoltaické systémy přinášejí.

Samostatnou kapitolou je možnost efektivní sekvestrace uhlíku v agrovoltaických systémech, která by si zasloužila samostatný zřetel a je už mimo možnosti a rozsah této práce. Nutnost odebrání oxidu uhličitého z atmosféry je zcela zásadní, a to jak průmyslovou, tak i biologickou cestou.

Výzvy, které před námi stojí, vyžadují multidisciplinární přístup a spolupráci všech zainteresovaných stran, aby se plný potenciál agrovoltaiky mohl naplno realizovat a přispět k dosažení globálních cílů v oblasti udržitelného rozvoje. Zásadní bude dostatečná kapacita krátkodobé a později i dlouhodobé akumulace tak, aby se z občasných zdrojů elektrické energie (OZE), staly trvalé zdroje obnovitelné energie (TOZE).

# Seznam použité literatury

1. 25–50kW Hybridní Střídač. Online. In: . Solinteg Power Co, 2024. Dostupné z: <https://cz.solinteg.com/wp-content/uploads/download/INTEG-M-25-50KW-Hybrid-Inverter.pdf>. [cit. 2024-04-11].
2. Agrivoltaics in India: Challenges and opportunities for scale-up. Online. In: . Kanada: International Institute for Sustainable Development, 2023, s. 41. Dostupné z: <https://www.iisd.org/system/files/2023-05/agrivoltaics-in-india.pdf>. [cit. 2024-03-25].
3. Agrivoltaics in India: Overview of projects and relevant policies. Online. In: . 3. vydání. New Delhi: National Solar Energy Federation of India (NSEFI), 2023. Dostupné z: [https://www.energyforum.in/fileadmin/user\\_upload/india/media\\_elements/Photos\\_And\\_Gallery/20201210\\_SmarterE\\_AgroPV/20201212\\_NSEFI\\_on\\_AgriPV\\_in\\_India\\_1\\_01.pdf](https://www.energyforum.in/fileadmin/user_upload/india/media_elements/Photos_And_Gallery/20201210_SmarterE_AgroPV/20201212_NSEFI_on_AgriPV_in_India_1_01.pdf). [cit. 2024-03-25].
4. Agrivoltaics: The future of farming? Online. *Environment Journal*. 2023. Dostupné z: <https://environmentjournal.online/features-opinion/agrivoltaics-the-future-of-farming/>. [cit. 2024-02-11].
5. Agrivoltaics: the world of agriculture can reap numerous benefits. Online. *Enel Green Power*. 2022. Dostupné z: <https://www.enelgreenpower.com/media/news/2022/12/agrivoltaics-benefits-world-agriculture>. [cit. 2024-03-24].
6. AMADUCCI, Stefano. AgriVoltaics2022: Conference Catalog. Online. In: . S. 44. Dostupné z: [https://www.agrivoltaics-conference.org/fileadmin/data/AgriVoltaics/2022/AgriVoltaics2022\\_Conference\\_Catalog.pdf](https://www.agrivoltaics-conference.org/fileadmin/data/AgriVoltaics/2022/AgriVoltaics2022_Conference_Catalog.pdf). [cit. 2024-03-17].
7. ANTAI TECHNOLOGY CO.,LTD. Agricultural Greenhouses Mounting System. Online. Antaisolar. Dostupné z: [https://www.antisolar.com/agricultural-greenhouses-mounting-system\\_p28.html](https://www.antisolar.com/agricultural-greenhouses-mounting-system_p28.html). [cit. 2024-03-24].
8. BAROCH, Pavel. V Česku se plánují první projekty agrovoltaiky, ale brzdí je chybějící zákon. Vláda už návrh dostala. Online. *Obnovitelně.cz*. 2023. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/clanek/2588/v-cesku-se-planuji-prvni-projekty-agrovoltaiky-ale-brzdi-je-chybejici-zakon-vlada-uz-navrh-dostala>. [cit. 2024-03-28].
9. BECHNÍK, PH.D., Ing. Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. Online. *TZB-info*. 2014. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>. [cit. 2024-03-28].
10. BiHiKu7: BIFACIAL MONO PERC. Online. In: . CSI Solar Co., 2022. Dostupné z: [https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/10/06153525/CS-Datasheet-BiHiKu7\\_CS7N-MB-AG\\_v2.4\\_EN.pdf](https://static.csisolar.com/wp-content/uploads/2020/10/06153525/CS-Datasheet-BiHiKu7_CS7N-MB-AG_v2.4_EN.pdf). [cit. 2024-04-11].
11. CAMPANA, Pietro Elia; STRIDH, Bengt; AMADUCCI, Stefano a COLAUZZI, Michele. Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. Online. *Journal of Cleaner Production*. 2021, roč. 325. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>. [cit. 2024-03-17].
12. Contributing to achieving a sustainable primary sector. Online. *Repsol*. 2023. Dostupné z: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/future-of-the-world/agrivoltaics/index.cshtml>. [cit. 2024-02-11].
13. CROWNHART, Casey. What's next for batteries. Online. *MIT Technology Review*. 2023. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/2023/01/04/1066141/whats-next-for-batteries/>. [cit. 2024-04-04].
14. ČESKÁ REPUBLIKA. Meziřesortní připomínkové řízení, Návrh zákona, kterým se mění zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů. In: . 2023.
15. ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 542/2020 Sb.: o výrobcích s ukončenou životností. In: . 2020, 223/2020.
16. Češi loni pokračovali v šetření elektřinou, spotřeba se snížila o 4,1 %. Online. *Energetický regulační úřad*. 2024. Dostupné z: <https://eru.gov.cz/cesi-loni-pokracovali-v-setreni-elektřinou-spotřeba-se-snizila-o-41>. [cit. 2024-04-11].
17. DINESH, Harshavardhan a PEARCE, Joshua M. The potential of agrivoltaic systems. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, roč. 54, s. 299-308. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>. [cit. 2024-03-30].

18. EDF RENOUVELABLES. Agrivoltaism. Online. EDF Renewables. Dostupné z: <https://edf-renewables.com/en/nos-offres/agrivoltaisme/>. [cit. 2024-03-24].
19. EDUARD, M. The History of Agrivoltaic. Online. *RenewablePedia*. Dostupné z: <https://renewablepedia.com/the-history-of-agrivoltaic/>. [cit. 2024-02-11].
20. Elektřina denní graf komodita. Online. In: *G.kurzy*. Dostupné z: <https://g.kurzy.cz/graf-komodita/cena-elektřiny-eur-670-350-15let.svg>. [cit. 2024-04-18].
21. EVROPSKÁ KOMISE. Realizace Zelené dohody pro Evropu. Online. Evropská komise. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_cs](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs). [cit. 2024-03-30].
22. EVROPSKÁ KOMISE. Strategie „od zemědělce ke spotřebiteli“: pro spravedlivé, zdravé a ekologické potravinové systémy. Online. In: . Brusel, 2020. Dostupné z: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0013.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1&format=PDF). [cit. 2024-03-30].
23. FISCHER, Anne. Bipartisan Farmland act acknowledges that agrivoltaics are part of America's future. Online. *Pvmagazine*. 2023. Dostupné z: <https://pv-magazine-usa.com/2023/10/23/bipartisan-farmland-act-acknowledges-that-agrivoltaics-are-part-of-americas-future/>. [cit. 2024-03-30].
24. FISCHER, Anne. US government allocates \$8 million to support agrivoltaics. Online. *Pvmagazine*. 2022. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/2022/12/15/us-government-allocates-8-million-to-support-agrivoltaics/>. [cit. 2024-03-30].
25. GODDING, Nicky. European renewable energy company steps up UK presence after opening Coventry office. Online. *The Business Magazine*. 2020. Dostupné z: <https://thebusinessmagazine.co.uk/companies/european-renewable-energy-company-steps-up-uk-presence-after-opening-coventry-office-last-year/>. [cit. 2024-03-17].
26. GUERRA, Omar J.; ZHANG, Jiazi; EICHMAN, Joshua; DENHOLM, Paul; KURTZ, Jennifer et al. The value of seasonal energy storage technologies for the integration of wind and solar power. Online. 2020, roč. 13, č. 7, s. 1909-1922. ISSN 1754-5692. Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/D0EE00771D>. [cit. 2024-04-04].
27. HANISCH, Claudia M. A. a STEINHÜSER, Andreas. First agrivoltaic system for carbon-neutral orcharding being tested. Online. In: . Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2021. Dostupné z: [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2021/2121\\_ISE\\_e\\_PR\\_Agri\\_PV\\_Orcharding.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/press-releases/2021/2121_ISE_e_PR_Agri_PV_Orcharding.pdf). [cit. 2024-03-25].
28. HENDRICH, M.; THAIDIGSMANN, B.; FELLMETH, T.; NOLD, S.; HERRMANN, P. et al. COST-OPTIMIZED METALLIZATION LAYOUT FOR METAL WRAP THROUGH (MWT) SOLAR CELLS AND MODULES. Online. In: . Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2013. Dostupné z: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/6b0d5db8-3f7c-4821-a273-fb95f18e6541/content>. [cit. 2024-03-31].
29. Heterojunction Solar Panels: How They Work & Benefits. Online. *Solar Magazine*. 2022. Dostupné z: <https://solarmagazine.com/solar-panels/heterojunction-solar-panels/>. [cit. 2024-04-04].
30. HUTCHINS, Mark. Role of UV in solar cell degradation. Online. *Pvmagazine*. 2022. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/2022/07/13/role-of-uv-in-solar-cell-degradation/>. [cit. 2024-04-04].
31. CHEN, Qianyu. The King of the New Generation Photovoltaic Technologies——Perovskite Solar Cells & the Opportunities and Challenges. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, roč. 926, č. 1. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/926/1/012010>. [cit. 2024-04-04].
32. CHVALEK, Roman; MOLDRİK, Petr a PROCHAZKA, Ondrej. Production of electric power using photovoltaic systems in the Czech Republic. Online. *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*. 2011, s. 1-4. ISBN 978-1-4244-8779-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2011.5874746>. [cit. 2024-03-31].
33. IPCC. Shrnutí pro tvůrce politik: Šestá hodnotící zpráva (AR6) Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC). Online. In: . Cambridge University Press, 2023, s. 46. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna\\_zprava\\_ipcc/\\$FILE/OEOK-AR6\\_SYR\\_CZ-20230920.PDF](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna_zprava_ipcc/$FILE/OEOK-AR6_SYR_CZ-20230920.PDF). [cit. 2024-03-30].

34. JAIN, Pulkit; RAINA, Gautam; SINHA, Sunanda; MALIK, Prashant a MATHUR, Siddharth. Agrovoltatics: Step towards sustainable energy-food combination. Online. *Bioresource Technology Reports*. 2021, roč. 15. ISSN 2589014X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100766>. [cit. 2024-03-17].
35. HÁJEK, PH.D., Ing. David. AgropV – vliv na výnosy, zkušenosti z Evropy a z ČR. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., 2023.
36. JELLE, Bjørn Petter; NG, Serina; GAO, Tao; MOFID, Sohrab Alex a KOLĀS, Tore. A Review of Materials Science Research Pathways and Opportunities for Building Integrated Photovoltaics. Online. *Journal of Energy Challenges and Mechanics*. 2016, č. Volume 3 (2016) 2. ISSN 2056-9386. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/320555414\\_A\\_Review\\_of\\_Materials\\_Science\\_Research\\_Pathways\\_and\\_Opportunities\\_for\\_Building\\_Integrated\\_Photovoltaics](https://www.researchgate.net/publication/320555414_A_Review_of_Materials_Science_Research_Pathways_and_Opportunities_for_Building_Integrated_Photovoltaics). [cit. 2024-04-03].
37. KOPECEK, Radovan a LIBAL, Joris. Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges. Online. *Energies*. 2021, roč. 14, č. 8. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en14082076>. [cit. 2024-04-03].
38. KOREC, Martin. Fotovoltaická elektrárna instalovaná v roce 1982 stále dodává energii. Online. *EFotovoltaika.cz*. 2022. Dostupné z: <https://www.efotovoltaika.cz/fotovoltaicka-elektrarna-instalovana-v-roce-1982-stale-dodava-energii/>. [cit. 2024-03-29].
39. Krátkodobé trhy. Online. *OTE*. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh?date=2024-04-02>. [cit. 2024-04-04].
40. LASSEN, Thomas. What Are Bifacial Solar Panels – A Complete Guide. Online. *SustainableWave*. 2023. Dostupné z: <https://sustainablewave.com/what-are-bifacial-solar-panels/>. [cit. 2024-04-04].
41. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Online. *National Renewable Energy Laboratory*. 2012. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.nrel.gov%2Fdocs%2Ffy13osti%2F56487.pdf%0AVisible%3A%200%25%20>. [cit. 2024-04-04].
42. Liquid air energy storage. Online. In: . Dostupné z: [https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0306261916319018-fx1\\_lrg.jpg](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0306261916319018-fx1_lrg.jpg). [cit. 2024-04-01].
43. Liquid Air Energy Storage: Pumped Hydro Capability No Geographical Constraints. Online. In: . London: Highview Power, 2017. Dostupné z: <https://www.highviewpower.com/wp-content/uploads/2018/04/Highview-Brochure-November-2017-Online-A4-web.pdf>. [cit. 2024-04-01].
44. MARSH, Jacob. How do solar cells work? Photovoltaic cells explained. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-photovoltaic-cells/>. [cit. 2024-03-30].
45. MARSH, Jacob. PERC solar cells: What you need to know. Online. *EnergySage*. 2018. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-photovoltaic-cells/perc-solar-cells-overview/>. [cit. 2024-04-04].
46. MESQUITA, Daniel de B.; LUCAS DE S. SILVA, Joao; MOREIRA, Hugo S.; KITAYAMA, Michelle a VILLALVA, Marcelo G. A review and analysis of technologies applied in PV modules. Online. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*. 2019, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-9567-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2019.8895369>. [cit. 2024-03-31].
47. NEUMEISTER, Karsten, SMITH, Melissa (ed.). What Are the Most Efficient Solar Panels? Online. *EcoWatch*. 2024. Dostupné z: <https://www.ecowatch.com/solar/most-efficient-solar-panels>. [cit. 2024-03-28].
48. NIKOLAOS, Papadakis C.; MARIOS, Fafalakis a DIMITRIS, Katsaprakakis. A Review of Pumped Hydro Storage Systems. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 11. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16114516>. [cit. 2024-04-04].
49. OLABI, Abdul Ghani; ALLAM, Mohamed Adel; ABDELKAREEM, Mohammad Ali; DEEPA, T. D.; ALAMI, Abdul Hai et al. Redox Flow Batteries: Recent Development in Main Components, Emerging Technologies, Diagnostic Techniques, Large-Scale Applications, and Challenges and Barriers. Online. *Batteries*. 2023, roč. 9, č. 8. ISSN 2313-0105. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/batteries9080409>. [cit. 2024-04-04].

50. PERNA, Alessandra; MORETTI, Linda; FICCO, Giorgio; SPAZZAFUMO, Giuseppe; CANALE, Laura et al. SNG Generation via Power to Gas Technology. Online. *Applied Sciences*. 2020, roč. 10, č. 23. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app10238443>. [cit. 2024-04-04].
51. POMPEI, Laura; NARDECCHIA, Fabio a MILIOZZI, Adio. Current, Projected Performance and Costs of Thermal Energy Storage. Online. *Processes*. 2023, roč. 11, č. 3. ISSN 2227-9717. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr11030729>. [cit. 2024-04-04].
52. PREET, Sajan. A review on the outlook of thermal management of photovoltaic panel using phase change material. Online. *Energy and Climate Change*. 2021, roč. 2. ISSN 26662787. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2021.100033>. [cit. 2024-03-31].
53. Průvodce solárními články TOPCon. Online. *DS Nová energie*. 2023. Dostupné z: <https://cz.dnsolar.com/info/guide-to-topcon-solar-cells-89251307.html>. [cit. 2024-04-03].
54. PUTNEY, Z. C. Cast Semicrystalline Silicon for Solar Cells. Online. 2015, s. 5. Dostupné z: <https://doi.org/10.1115/79-SOL-16>. [cit. 2024-03-31].
55. PUTRI, Novia Utami; PRANITA, Elka; SEMBIRING, Jaka Persada; JAYADI, Akhmad; ARYANTO, Aryanto et al. The Effect of Solar Radiation on Solar Panels in Aeroponic Plant Systems. Online. *2023 International Conference on Networking, Electrical Engineering, Computer Science, and Technology (IConNECT)*. 2023, s. 121-126. ISBN 979-8-3503-3117-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IConNECT56593.2023.10327307>. [cit. 2024-04-04].
56. RABI, Ayah; RADULOVIC, Jovana a BUICK, James. Comprehensive Review of Compressed Air Energy Storage (CAES) Technologies. Online. *Thermo*. 2023, roč. 3, č. 1, s. 104-126. ISSN 2673-7264. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/thermo3010008>. [cit. 2024-04-04].
57. RABI, Ayah Marwan; RADULOVIC, Jovana a BUICK, James M. Comprehensive Review of Liquid Air Energy Storage (LAES) Technologies. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 17. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16176216>. [cit. 2024-04-04].
58. RAHMAN, Tuhibur; MANSUR, Ahmed; HOSSAIN LIPU, Molla; RAHMAN, Md.; ASHIQUE, Ratil et al. Investigation of Degradation of Solar Photovoltaics: A Review of Aging Factors, Impacts, and Future Directions toward Sustainable Energy Management. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 9. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16093706>. [cit. 2024-04-04].
59. Redox-flow baterie. Online. *CGT Carbon GmbH*. Dostupné z: <https://cgt-carbon.com/cz/aplikace/redox-flow-baterie/>. [cit. 2024-04-01].
60. REUTHER, Christian. Allraum fürs Dorfleben Gemeinschaftshaus von furoris X art im Erzgebirge. Online. *BauNetz*. 2022. Dostupné z: [https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Gemeinschaftshaus\\_von\\_furoris\\_X\\_art\\_im\\_Erzgebirge\\_7850246.html](https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Gemeinschaftshaus_von_furoris_X_art_im_Erzgebirge_7850246.html). [cit. 2024-03-17].
61. ROOIJ, Dricus De. MWT Solar Cells. Online. *Sinovoltaics*. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/mwt-solar-cells/>. [cit. 2024-03-31].
62. SARBU, Ioan a SEBARCHIEVICI, Calin. A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage. Online. *Sustainability*. 2018, roč. 10, č. 1. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su10010191>. [cit. 2024-04-04].
63. SATPATHY, Rabindra a PAMURU, Venkateswarlu. Manufacturing of crystalline silicon solar PV modules. Online. *Solar PV Power*. 2021, s. 135-241. ISBN 9780128176269. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817626-9.00005-8>. [cit. 2024-04-03].
64. SCULLY, Jules. The PV Review, Q4 2021: Rising prices, policy uncertainty and new product launches. Online. *PV Tech*. 2021. Dostupné z: <https://www.pv-tech.org/the-pv-review-q4-2021-rising-prices-policy-uncertainty-and-new-product-launches/>. [cit. 2024-04-04].
65. SHARMA, Divya; MEHRA, Rajesh a RAJ, Balwinder. Design and Analysis of Various Solar Cell Technologies for Improvements in Efficiencies: A Review. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Dostupné z: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-469458/v1>. [cit. 2024-04-04].
66. SCHREIER, Martin. Ledvice se mění v laboratoř zelené energetiky. Po unikátní vodní turbíně s akumulací tu ČEZ zkouší moderní solární panely pro nové velké elektrárny. Online. *Skupina ČEZ*. 2021. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/ledvice-se-meni-v-laborator-zelene-energetiky.-po-unikatni-vodni-turbine-s-akumulaci-tu-cez-zkousi-moderni-solarni-panely-pro-nove-velke-elektrarny-141426>. [cit. 2024-03-28].



67. Silikonový solární článek Heterojunction Technology (HJT). Online. *DS New Energy*. 2020. Dostupné z: <https://cz.dsnsolar.com/info/heterojunction-technology-hjt-silicon-solar-50513228.html>. [cit. 2024-04-03].
68. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU: o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). In: . 2012.
69. *Solar (photovoltaic) panel prices*. Online. OurWorld in Data. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>. [cit. 2024-03-28].
70. Solar Panel Degradation: What Is It and Why Should You Care? Online. *Solar Magazine*. 2022. Dostupné z: <https://solarmagazine.com/solar-panels/solar-panel-degradation/>. [cit. 2024-04-04].
71. SOUČEK, Ondřej. První česká agrovoltaika bude vyrábět elektřinu na víně. MND ji připojí v listopadu. Online. *E15*. 2023. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prvni-ceska-agrovoltaika-bude-vyrabet-elektřinu-na-vine-mnd-ji-pripoji-v-listopadu-1410862>. [cit. 2024-03-28].
72. Souvislost koncentrace CO<sub>2</sub> a globálního oteplování. Online. Fakta o klimatu. 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/souvislost-koncentrace-oteplovani>. [cit. 2024-04-20].
73. Spektrum viditelného světla, vlnová délka světla. Online. *Lena Lighting*. Dostupné z: <https://lenalighting.cz/spolecnost/znalostni-baze/2559-spektrum-viditelneho-svetla-vlnova-delka-svetla>. [cit. 2024-04-04].
74. STAUFFER, Nancy W. Flow batteries for grid-scale energy storage. Online. *MIT EnergyInitiative*. 2023. Dostupné z: <https://news.mit.edu/2023/flow-batteries-grid-scale-energy-storage-0407>. [cit. 2024-04-04].
75. SVARC, Jason. Solar Panel Construction. Online. *Clean Energy Reviews*. 2022. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>. [cit. 2024-03-31].
76. Technology. Online. *Gravitricity*. Dostupné z: <https://gravitricity.com/technology/>. [cit. 2024-04-01].
77. The future of energy storage: how pumped hydro storage can help us achieve our net zero targets. Online. *SEE*. 2024. Dostupné z: <https://www.sse.com/news-and-views/2024/02/pumped-hydro-storage-can-help-us-achieve-net-zero-targets/>. [cit. 2024-04-04].
78. Thin-Film Solar Panels. Online. *American Solar Energy Society*. 2021. Dostupné z: <https://ases.org/thin-film-solar-panels/>. [cit. 2024-04-03].
79. This disused mine in Finland is being turned into a gravity battery to store renewable energy. Online. *Euronews*. 2024. Dostupné z: <https://www.euronews.com/green/2024/02/06/this-disused-mine-in-finland-is-being-turned-into-a-gravity-battery-to-store-renewable-ene>. [cit. 2024-04-04].
80. Three Sixty Solar Demonstration Tower: 16 Months in Nature. Online. In: *Three Sixty Solar*. Three Sixty Solar, 2023. Dostupné z: <https://threesixtysolar.com/wp-content/uploads/2023/02/2023-02-22-Demonstration-Solar-Tower-White-Paper.pdf>. [cit. 2024-03-24].
81. TROMMSDORFF, Max; DHAL, IpsaSweta; ÖZDEMİR, ÖzalEmre; KETZER, Daniel; WEINBERGER, Nora et al. Agrivoltaics: solar power generation and food production. Online. *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*. 2022, s. 159-210. ISBN 9780323898669. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>. [cit. 2024-03-17].
82. TROMMSDORFF, Max; GRUBER, Simon; KEINATH, Tobias; HOPF, Michaela; HERMANN, Charis et al. *Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition*. Online. 2. vydání. Německo: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2022. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>. [cit. 2024-03-24].
83. Územní stopa elektřiny ze slunce, větru a biomasy. Online. *Fakta o klimatu*. 2023. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/uzemni-stop-a-oze>. [cit. 2024-04-20].
84. VOBOŘIL, David. Příčiny solárního boomu v České republice. Online. *OEnergetice.cz*. 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energeticka-legislativa-cr/priciny-solarniho-boomu>. [cit. 2024-03-28].

85. VR, Akshay. The Benefits and Challenges of Solar-Powered Greenhouses. Online. *ARKA 360*. 2023. Dostupné z: <https://arka360.com/ros/solar-powered-greenhouses-benefits-challenges/>. [cit. 2024-03-24].
86. *Výroba energie ze slunce a větru* [@faktaoklimatu]. Online. 2023, Oct 23, 2023. Dostupné z: X, <https://twitter.com/faktaoklimatu/status/1716510798368178285?s=46>. [cit. 2024-04-21].
87. Vývoj koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře. Online. *Fakta o klimatu*. 2022. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/koncentrace-co2>. [cit. 2024-04-21].
88. WAGNER, Moritz; LASK, Jan; KIESEL, Andreas; LEWANDOWSKI, Iris; WESELEK, Axel et al. Agrivoltaics: The Environmental Impacts of Combining Food Crop Cultivation and Solar Energy Generation. Online. *Agronomy*. 2023, roč. 13, č. 2. ISSN 2073-4395. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020299>. [cit. 2024-03-31].
89. Which chemistry is most suitable for the electrification of your vehicle? Let's discover the different types of batteries. Online. *FLASH BATTERY*. Dostupné z: <https://www.flashbattery.tech/en/types-of-lithium-batteries-which-chemistry-use/>. [cit. 2024-04-01].
90. Why TOPCon is leading the n-type market breakthrough. Online. *Pvmagazine*. 2021. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/webinars/comparing-the-leading-n-type-cell-technologies/>. [cit. 2024-04-04].
91. WIERZBOWSKA-KUJDA, Marta. Pierwsza polska hybryda OZE z koncesją. Pokazujemy instalację z bliska. Online. *TerazŚrodowisko*. 2024. Dostupné z: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/pierwsza-polska-hybryda-oze-z-koncesja-pokazujemy-instalacje-z-bliska-14766.html>. [cit. 2024-03-24].
92. WOON, David. Solar Panel Shading: Analysis and Solutions. Online. *Spirit Energy*. 2021. Dostupné z: <https://blog.spiritenergy.co.uk/contractor/solar-panel-shading-analysis>. [cit. 2024-03-31].
93. WYDRA, Kerstin; VOLLMER, Vera; BUSCH, Christin a PRICHTA, Susann. Agrivoltaic: Solar Radiation for Clean Energy and Sustainable Agriculture with Positive Impact on Nature. Online. *Solar Radiation - Enabling Technologies, Recent Innovations, and Advancements for Energy Transition [Working Title]*. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.111728>. [cit. 2024-03-24].
94. XINHUA. Botswana launches first Agrivoltaic project to harness solar power. Online. *Global Times*. 2023. Dostupné z: <https://www.globaltimes.cn/page/202303/1287469.shtml>. [cit. 2024-03-25].
95. XU, Kai; GUO, Youguang; LEI, Gang a ZHU, Jianguo. A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 18. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en16186462>. [cit. 2024-04-04].
96. YANDI, W; PURIZA, M Y a JUMAIDA, K. Comparative study of electrical energy conversion on monocrystalline and polycrystalline solar panel types in fixed position with various weather conditions in mountain area. Online. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, roč. 926, č. 1. ISSN 1755-1307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/926/1/O12053>. [cit. 2024-04-03].
97. ZHANG, Yuliang Matthew; IZQUIERDO, Ricardo a XIAO, Shuyong Steven. Printing of Flexible, Large-Area Organic Photovoltaic Cells. Online. *2018 International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC)*. 2018, s. 1-3. ISBN 978-1-5386-3357-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/IFETC.2018.8583947>. [cit. 2024-04-04].

# Seznam obrázků

Obrázek 1: Umístění agrovoltaiky v matrixu energie - ekonomika - zemědělství - biodiverzita - ekosystémové služby.....	9
Obrázek 2: Agrovoltaika .....	13
Obrázek 3: Vývoj agrovoltaiky od roku 2010.....	14
Obrázek 4: Srovnání standardního a dvojího využití půdy a jejich efektivity.....	16
Obrázek 5: Vývoj koncentrace CO <sub>2</sub> v atmosféře.....	17
Obrázek 6: Vyvýšené statické nadzemní systémy.....	19
Obrázek 7: Dynamické solární systémy .....	19
Obrázek 8: Vertikální solární farma s traktorem při sečení .....	20
Obrázek 9: Výpočet pro zastínění plochy a rozestup mezi řadami.....	20
Obrázek 10: Integrovaný střešní systém .....	21
Obrázek 11: Truhlíkový systém.....	22
Obrázek 12: Agrovoltaický skleník.....	22
Obrázek 13: Lanový systém .....	23
Obrázek 14: Solární věž .....	23
Obrázek 15: Hybridní systém agrovoltaiky .....	24
Obrázek 16: Agrovoltaická farma Cochin Airport v Kerale, Indie .....	26
Obrázek 17: Pěstování rajčat pod solárními moduly na Botswanské univerzitě zemědělství a přírodních zdrojů v Gaborone.....	27
Obrázek 18: Agrovoltaika ve Starém Poddvorově .....	29
Obrázek 19: Znázornění PN přechodu na křemíkovém solárním článku .....	35
Obrázek 20: 6 hlavních komponent používaných při výrobě solárního modulu .....	36
Obrázek 21: Proces výroby fotovoltaického článku.....	37
Obrázek 22: Schéma článku typu PERC.....	37
Obrázek 23: Schéma bifaciálního článku.....	38
Obrázek 24: Schéma článku typu TOPCon .....	38
Obrázek 25: Schéma článku typu HJT .....	39
Obrázek 26: MWT solární článek.....	40
Obrázek 27: Polykrystalický modul.....	40
Obrázek 28: Prototyp ohebného samolepícího CdTe modulu .....	41
Obrázek 29: Vlnové délky světelného spektra .....	44
Obrázek 30: Typy degradace fotovoltaických modulů.....	48
Obrázek 31: Prototyp autonomního instalačního stroje modulů .....	49
Obrázek 32: Možné účinky ochrany plodin prostřednictvím různých úhlů agrovoltaických systémů .....	51
Obrázek 33: Diagram ukazující srovnání různých typů lithiové baterie .....	55
Obrázek 34: Schéma baterie s tekutým elektrolytem.....	58
Obrázek 35: Schéma ukládání energie do zkapalněného vzduchu .....	60
Obrázek 36: Vizualizace LAES akumulčního zdroje s nádržemi na teplo a zkapalněný vzduch.....	60
Obrázek 37: Podzemní gravitační akumulace energie .....	62
Obrázek 38: Souvislost koncentrace CO <sub>2</sub> a globálního oteplování .....	85
Obrázek 39: Výroba solární a větrné elektřiny v průběhu roku.....	88
Obrázek 40: Územní stopa elektřiny ze slunce, větru a biomasy .....	89

## Seznam grafů

Graf 1: Celosvětově instalovaná kapacita AV v letech 2012–2021 (MW).....	15
Graf 2: Vývoj orné půdy v Indii (v hektarech na obyvatele) .....	25
Graf 3: Vývoj cen za fotovoltaické moduly .....	33
Graf 4: Efektivita solárních modulů podle typu .....	34
Graf 5: Ceny elektřiny na spotovém trhu (den dopředu).....	53
Graf 6: Průměrné ceny elektřiny v eurech za posledních 15 let.....	76
Graf 7: Průměrná teplota v ČR v jednotlivých měsících .....	84

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Investiční vstupní náklady agrovoltaického systému.....	73
Tabulka 2: Predikce ročních produkcí v závislosti na degradaci .....	75
Tabulka 3: Predikce nákladové ceny vyrobené elektřiny.....	76
Tabulka 4: Kalkulace návratnosti investice agrovoltaického systému.....	78
Tabulka 5: Detailní průběh produkce a cashflow .....	79
Tabulka 6: Přehled maximálního potenciálu ploch pro agrovoltaiku v ČR.....	82
Tabulka 7: Současná energetická bilance ČR při započtení 5 % AV .....	83

# Seznam zkratek a použitých jednotek

°C	stupně Celsia
A	ampér
Aac	ampér střídavého proudu
AC	střídavý proud
Adc	ampér stejnosměrného proudu
a-Si	amorfní křemík
AV	agrovoltaika
BSF	Back Surface Field
BUAN	Botswanská univerzita zemědělství a přírodních zdrojů
CAES	Compressed Air Energy Storage
CdTe	kadmium-tellurid
CIAL	Cochin International Airport Limited
CIGS	měď-indium-galium-diselenid
cm	centimetr
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
č.	číslo
čl.	článek
ČSN	Česká státní norma
ČR	Česká republika
DC	stejnosměrný proud
DESÚ	Dopravní a energetický stavební úřad
DOE	Americké ministerstvo energetiky
DS	distribuční soustava
el.	elektrický
EPBT	energy payback time
EU	Evropská unie
EVA	ethylvinylacetát
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství
FV	fotovoltaika
FVE	fotovoltaická elektrárna
FVS	fotovoltaický střídač
GaN	gallium-nitride
gCO <sub>2</sub> eq	gram ekvivalentu oxidu uhličitého
GWh	gigawatthodina
GW <sub>p</sub>	gigawatt peak
ha	hektar
HDO	hromadné dálkové ovládání
HJT	Heterojunction Technology
Hz	hertz
IEA	Mezinárodní energetická agentura
IP	Ingress Protection
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu
IRR	vnitřní výnosové procento
kA	kiloampér
Kč	koruna česká
kg	kilogram
km	kilometr
ks	kus
kV	kilovolt
kVA	kilovoltampér

kW	kilowatt
kWh	kilowatthodina
kW <sub>p</sub>	kilowatt peak
l	litr
LAES	Liquid Air Energy Storage
LCA	life cycle analyst
m	metr
m <sup>2</sup>	metr čtvereční
MEŘO	methylester řepkového oleje
min.	minuta
mil.	milion
mld.	miliarda
mm	milimetr
mm <sup>2</sup>	milimetr čtvereční
MTN	měřicí transformátor napětí
MTP	měřicí transformátor proudu
MWT	Metal Wrap Through
MW	megawatt
MWh	megawatthodina
MW <sub>p</sub>	megawatt peak
např.	například
NN	nízké napětí
odst.	odstavec
OPEX	provozní náklady
ORC	organický Rankinův cyklus
OZ	obnovitelný zdroj
OZE	obnovitelné zdroje energie
P2G	Power to Grid
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PE+ N	Protective Earthing + Neutral
PEN	Protective Earthing combined with Neutral
PERC	Passivated Emitter and Rear Cell
PET	polyethylen-tereftalát
PPDS	Pravidla provozní distribuční soustavy
PV	photovoltaics
PVB	polyvinylbutyral
PVE	přečerpávací vodní elektrárna
PVF	polyvinylfluorid
resp.	respektive
RTU	remote telemetry unit
Sb.	sbírka
SOZE	stále zdroje obnovitelné energie
stab.	stabilní
STC	Standard Test Conditions
TiO <sub>2</sub>	oxid titanu
tj.	to je
TOPCon	Tunnel Oxide Passivated Contact
tř.	třída
TS	trafostanice
TTP	trvale travní porost
TWh	terawatthodina
tzv.	takzvaný

USA	Spojené státy americké
UV	ultrafialové
V2G	Vehicle to Grid
V	volt
VA	voltampér
Vac	volt střídavého proudu
Vdc	volt stejnosměrného proudu
vč.	včetně
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
vyhl.	vyhláška
W	watt
WLAN	Wireless Local Area Network
W <sub>p</sub>	watt peak