

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Vliv FVE na vegetaci

Bakalářská práce

Michal Kněžourek

Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů kombinovaná

RNDr. Milan Skalický, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že já, Michal Kněžourek, jsem svou bakalářskou práci „Vliv FVE na vegetaci“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce RNDr. Milana Skalického Ph.D., s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne:

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu práce RNDr. Milanu Skalickému Ph.D. za podnětné a nápomocné konzultace, své partnerce Nicole M., která pro mě byla jak psychickou podporou, tak praktickým rádcem při faktickém psaní této práce. Dále své rodině a přátelům za vřelou podporu v těžkých chvílích studia.

Vliv FVE na vegetaci

Souhrn

Tématem této bakalářské práce bylo prozkoumat novodobé výzkumy v oblasti vlivu velkých fotovoltaických komplexů na vegetaci, která se v nich vyskytuje, poté formou literární rešerše pojednat o těchto informacích. Následně je vložit do kontextu vzhledem k oblastem ochrany přírody a krajiny, využívání půdy a změn místních životních podmínek a porovnat jednotlivé druhy konstrukcí. Tyto faktory výrazně ovlivňují své prostředí a tím i vegetaci, proto bylo vhodné porovnat pozitivní a negativní vliv a pokusit se vyhodnotit, zda je v celkovém kontextu přínosný či nikoliv. Vzhledem k celosvětovému tlaku na obnovitelné zdroje energie je zásadní pochopit environmentální kompromisy těchto technologií. Součástí této práce je malé pilotní vyhodnocení výzkumu, prováděného ČZU na třech velkých fotovoltaických areálech v České republice. Lze usuzovat, že tlak na „zelené technologie“ bude v budoucnosti stále silnější. Již dnes jsou znatelné tendence podporovat alternativní zdroje elektrické energie, jako jsou fotovoltaické elektrárny, pobřežní elektrárny využívající přílivu a odlivu, větrné elektrárny, zplyňování biomasy nebo například malé modulární jaderné reaktory. Z dostupných vyplývá, že se celosvětově výroba elektrické energie z fotovoltaických zdrojů v roce 2022 ustálila na necelých 5 %. To je oproti klasickým fosilním zdrojům stále malé číslo, vezmeme-li v potaz to, že spalování uhlí je na 35 %, spalování zemního plynu na 23 % a ostatní fosilní zdroje 3 %, tak je stále přes 60 % celosvětové elektrické energie vyráběno právě těmito fosilními zdroji. Jaderná energie je na 9 %. Z obnovitelných zdrojů je na tom oproti fotovoltaike elektrina vyrobená vodními zdroji, a to z 15 %, a zdroji využívajícími větrnou energii a to na 7 %. Lze předpokládat, že fotovoltaické zdroje budou v budoucnosti na vzestupu, a proto bylo v práci naznačeno jaké následky pro vegetaci a prostředí mohou areály FVE mít. Zejména je vhodné uvést, že změny nejsou v celkovém kontextu ani výhradně pozitivní negativní. Změna podmínek, která poskytuje příležitost pro jedny rostlinné druhy, naopak může znamenat záhubu pro jiné druhy. Lze usuzovat, že areály FVE vytváří nové prostředí a nové niky pro rostlinná společenstva, kterým právě tyto specifické podmínky budou vyhovovat.

Klíčová slova: fotovoltaika, fotovoltaická elektrárna, obnovitelné zdroje, vegetace, biodiverzita

Impact of Photovoltaic Installations on Vegetations

Summary

The topic of this bachelor thesis was to examine recent research on the impact of large-scale photovoltaic complexes on the vegetation that occurs within them, then to discuss this information through a literature search. Subsequently, to put them in context with respect to the areas of nature and landscape conservation, land use and local habitat change, and to compare different types of structures. These factors have a significant impact on their environment and therefore on vegetation, so it was appropriate to compare the positive and negative impact and try to assess whether or not it is beneficial in the overall context. Given the global pressure on renewable energy sources, it is essential to understand the environmental trade-offs of these technologies. This thesis includes a small pilot evaluation of the research carried out by the CZU on three large PV sites in the Czech Republic. It can be concluded that the pressure for "green technologies" will be increasingly strong in the future. Already today, there are noticeable tendencies to promote alternative sources of electricity such as photovoltaic power plants, offshore tidal power plants, wind power plants, biomass gasification or small modular nuclear reactors, for example. Available evidence suggests that global electricity generation from photovoltaic sources will stabilise at less than 5% in 2022. This is still a small number compared to conventional fossil sources, but if we take into account that coal combustion is at 35%, natural gas combustion at 23% and other fossil sources at 3%, then over 60% of the world's electricity is still generated by these fossil sources. Nuclear power is at 9%. Of the renewable sources, electricity generated by hydroelectric sources is at 15% and by wind energy sources at 7%. It can be assumed that PV sources will be on the rise in the future and therefore the paper has indicated what consequences PV sites may have for vegetation and the environment. In particular, it is worth noting that the changes are not even exclusively positive negative in the overall context. On the contrary, a change in conditions that provides opportunity for some plant species may spell doom for others. It can be inferred that PV sites create new environments and new niches for plant communities that will be suited to these specific conditions.

Keywords: photovoltaics, photovoltaic power plant, renewable resources, vegetation, biodiversity

Obsah

ÚVOD	7
CÍL PRÁCE	8
1 HISTORIE FOTOVOLTAIKY	9
2 KONSTRUKCE A PRINCIP FOTOVOLTAIKY A FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN	13
2.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP FUNGOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU.....	13
2.2 FOTOVOLTAICKÝ EFEKT	14
2.3 KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÉHO PANELU	14
2.4 STACIONÁRNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	16
2.5 ROTAČNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	17
3 SITUACE VÝROBY FOTOVOLTAICKÉ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE A VE SVĚTĚ	20
3.1 SOUČASNÁ VÝROBA ELEKTRINY Z FOTOVOLTAICKÉ TECHNOLOGIE	20
3.2 FOTOVOLTAIKA VE SVĚTĚ	20
4 VLIV FVE NA VEGETACI A KVALITU PROSTŘEDÍ	25
4.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VEGETACI	25
4.2 VLIV FVE NA MIKROKLIMA	27
4.3 VLIV FVE NA PŮDU.....	28
4.4 VLIV FVE NA VODU A VODNÍ REŽIM	32
4.5 VLIV FVE NA SVĚTELNÝ REŽIM	33
4.6 VLIV FVE NA OPYLOVAČE S PŘIHLÉDNUTÍM NA POLARIZOVANÉ SVĚTELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ	33
4.7 VLIV FVE NA TEPLOTU.....	35
4.8 VLIV ROZDÍLNÝCH KONSTRUKČNÍCH TYPŮ NA VEGETACI	36
4.9 CELKOVÝ VLIV NA VEGETACI.....	37
4.10 RIZIKO VZNIKU POŽÁRU	41
5 VÝZKUM ČZU NA VEGETACI VE VELKÝCH FVE	44
5.1 VYBRANÉ LOKALITY FVE	44
5.2 CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÝCH OBLASTÍ FVE	46
5.3 METODIKA.....	47
5.4 VÝSLEDKY TERÉNNÍHO PRŮZKUMU Z ROKU 2023	47
6 BILANCE POZITIVNÍCH A NEGATIVNÍCH VLIVŮ FVE NA VEGETACI	49
ZÁVĚR	51
ZDROJE	52
SEZNAM OBJEKTŮ	57

Úvod

Využívání fotovoltaické energie je v dnešní době velké téma, které vzbuzuje rozruch téměř ve všech kruzích lidského pokolení. Vzhledem k tomu, že jsem přes 2 roky působil jako projektový manager programu Ministerstva životního prostředí „*Program zlepšování kvality ovzduší*“ neboli „*PZKO 2020+*“, jsem byl schopen do problematiky ochrany ovzduší a dotačních možností v ČR proniknout hlouběji než většina občanů, tomto úvodu tedy vycházím z vlastních zkušeností a znalostí. Snaha vyspělých států o „zezelenění“ současné výroby elektrické energie je hybným politickým a společenským tématem, ovlivňujícím většinové obyvatelstvo. V rámci schválených balíčků Evropské unie, jako jsou *FIT55* a *Green Deal*, členské státy provádí opatření, která mají primárně za úkol razantní snížení skleníkových plynů a tím i omezení potenciálního oteplování planety. Jednou z metod pro implementaci těchto opatření je právě podpora a masové rozšíření fotovoltaické technologie, nejen v rámci velkých národních projektů, i podpora jednotlivců či menších skupin obyvatelstva vhodnými dotačními metodami. V České republice bychom měli uvést zejména tu nejznámější a nevyužívanější, a to program Nová zelená úsporám, který se zaměřuje právě na dotování ekologických opatření v rámci vlastního bydlení, i zde můžeme nalézt podporu využívání fotovoltaické technologie.

V rámci dotací bylo v minulosti v ČR silně podporováno budování větších fotovoltaických komplexů, které byly právě díky jejich výhodnosti umísťovány na bývalých zelených plochách, jako jsou pastviny nebo jinak využívaná zemědělská půda, která byla pro majitele půdy méně atraktivní a výnosná než výhodné zbudování fotovoltaické elektrárny a následný prodej vyrobené energie do veřejné sítě. Tyto trendy však přinášejí otázky v oblasti ochrany přírody a krajiny, a to zejména jaké jsou dopady masového využívání těchto technologií na jejich okolí. Tato bakalářská práce se pomocí dostupných zdrojů pokusí porovnat dopady jak negativní, tak pozitivní a ty následně vložit do celkového kontextu vlivu na rostoucí vegetaci a kvalitu prostředí právě v oblastech fotovoltaických elektráren.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je, formou literární rešerše, prozkoumat a zhodnotit, jakým způsobem je ovlivňována vegetace rostoucí v areálech fotovoltaických elektráren (dále také „FVE“), míru ovlivnění vegetace konstrukčním typem FVE a zpracování dat z místního průzkumu vybraných lokalit FVE ve vlastnictví ČEZ a.s.

1 Historie fotovoltaiky

Počátky fotovoltaiky

V roce 1839 francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel poprvé pozoroval fotovoltaický jev, který viděl při elektrochemických pokusech na stříbrných a platinových elektrodách, které byly vystaveny slunečnímu záření. Roku 1873 popsal Willoughby Smith jev na selenových tyčích, hermeticky uzavřených ve skleněné trubici, kdy z každé lezl platinový drát, který sloužil pro jejich spojení. Smith pozoroval, že odpor tyčí se výrazně mění v závislosti na intenzitě světelného záření, které na ně dopadá. V roce 1877 byl navržen první solární článek za použití selenu, následný článek měl účinnost 0,5 %. Tento solární článek byl navržen Williamem G. Adamsem a jeho studentem Richardem E. Dayem. Roku 1878 Charles Fritts využil jiného přístupu, a to spojení selenové destičky mezi dvěma tenkými kovovými vrstvami. Díky této technologii byl Fritts schopen dosáhnout účinnosti dvojnásobné, tedy 1 % (Andrew, 2012).

V roce 1905 navrhl fyzik Albert Einstein fotovoltaickou teorii, která zahrnovala koncepty, navržené již dříve Maxem Planckem. Teorie popisuje vztah mezi fotony a světelnými vlnami, taktéž vztah mezi energií fotonu a jeho frekvencí. Tento vztah byl zjištěn jako lineární, mohla tedy vzniknout úměrnostní Planckova konstanta. V roce 1921 byla za tyto objevy udělena Albertu Einsteinovi Nobelova cena za fyziku, a to zejména za část, kdy popsal, že světlo se skládá z kvant s pevně danou energií, která odpovídá určité frekvenci. Jedno takové světelné kvantum, nazývá se foton, musí mít určitou minimální frekvenci, aby mohlo uvolnit elektron. Tímto vznik zákon fotoelektrického jevu (Klassen, 2011).

Výrazného zvýšení efektivity se dosáhlo v době, kdy byl selen vyměněn za křemík. V roce 1939 Russell Ohl objevil oblasti P- a N- v křemíku a tedy i fotovoltaický jev v P-N přechodech (Charakteristika P-N přechodu bude vysvětlena v kapitole 2 *Konstrukce a princip fotovoltaiky a fotovoltaických elektráren*). Tyto znalosti dále napomohly s vývojem tranzistorů a fotovoltaických článků. O rok později Ohl vyvinul v Bellových laboratořích první křemíkový solární článek. V roce 1954 vyvinul chemik Calvin Fuller postup na obohacení křemíku, díky kterému bylo možné vytvořit první p-n přechod (diodu), za pomoci obohacené křemíkové tyčinky a lithia. S tímto vynálezem bylo možno dosáhnout účinnosti až 6 % (Andrew, 2012).

Využívání fotovoltaiky v kosmonautice a její další rozšíření

V roce 1955 bylo poprvé použito napájení solárním článkem, a to ve státě Georgia, kdy zde byla díky článku napájena telekomunikační síť. O tři roky později byla společností NASA vypuštěna družice s názvem *Vanguard-1*, jež jako první používala napájení solárním systémem. *Vanguard-1* používala dva druhy vysílačů, jeden z nich byl napájen rtuťovým zdrojem, ten druhý, záložní, byl vybaven solárním systémem se šesti křemíkovými solárními články. O tři měsíce později byla vypuštěna ruská družice *Sputnik-3*, která byla rovněž vybavena fotovoltaickým solárním zdrojem. Od této doby jsou tyto systémy důležitým zdrojem energie v kosmických projektech (Bernandes, 2021).

V 70. letech 20. století vyvinul Joseph Lindmeyer, zaměstnanec firmy Communications Satellite Corporation (Comsat), postup, při kterém byl schopen zvýšit účinnost křemíkových solárních článků o 50 %. V roce 1973 Lindmeyer založil společnost Solarex, která měla za cíl vyvíjet solární systémy pro veřejné použití. Díky vlivu ropné krize se o solární systémy objevoval vyšší a vyšší zájem a díky zájmu vědecké obce na sebe nenechaly čekat nové technologie. Do tohoto roku bylo používáno monokrystalického křemíku, ale poté se na trhu začaly objevovat polykrystalické křemíky a amorfní křemíky (Andrew, 2012) Od této doby se fotovoltaická technologie zdokonaluje dalšími technikami. Objevují se články druhé a třetí generace a dnes již vzniká generace čtvrtá (Dos Santos, 2021).

Rozdělení fotovoltaických technologií dle generací

První generace fotovoltaických článků se skládá zejména z monokrystalických a polykrystalických křemíkových článků. Z historie fotovoltaiky víme, že křemíkové solární články existují již řadu let. Ačkoliv bylo vyvinuto množství alternativ, tak fotovoltaické články na bázi křemíku zůstávají nejběžnější a nejrozšířenější fotovoltaickou technologií. Křemík zůstává jedním ze základních materiálů první generace díky dvěma klíčovým faktorům, pro svou ideální energii v elektronovém pásu na hodnotě 1,17 eV a pro dostatečné množství kvalitního materiálu, který je na trhu v důsledku velmi rozšířené výroby křemíkových polovodičů (Goetzberger, 2023).

V současné době se krystalické křemíkové články podílejí z 95 % na celosvětové výrobě fotovoltaické energie, avšak po dosažení zvýšení účinnosti tenkovrstvých solárních článků,

které jsou již schopny vyrovnat se těmto křemíkovým článkům, a to s výhodou nižších nákladů na polovodiče, je pravděpodobné, že se toto číslo brzy změní (Lameirinhas, 2022).

Ve snaze zlevnit výrobní náklady na fotovoltaické technologie, přichází druhá generace fotovoltaických článků s technologií tenkých vrstev. Tyto vrstvy jsou primárně vyráběny z amorfního křemíku (a-Si), teluridu kadmia (CdTe) a selenidu mědi a galia (CIGS), které se nanášejí v tenkých vrstvách na podložní „substrát“. Tyto tenkovrstvé solární články nabízejí poměrně dobré účinnosti (přibližně do 20 %), avšak je nutno podotknout, že účinnost je nižší než u fotovoltaických článků první generace, a možnosti integrace do stavebních materiálů (Feurer, 2017; Shay, 1975; Abou-ras, 2017).

Cílem třetí generace solárních článků je překonat Shockeyho-Queisserovu mez (účinnost 29,4 %), jedná se o teoretickou hranici maximální účinnosti solárního článku, který využívá p-n přechod. K dosažení tohoto cíle je využíváno především inovativních materiálů a jiné architektury článků. Nejběžnějším řešením je využití složení článků do více pásem nebo tandemu, kdy je využíváno vrstvení různých substrátů, které mají rozdílné elektronové orbitály. Při použití této technologie je možné teoreticky překročit Shockeyho-Queisserovu mez (Geisz, 2020).

Futcher a Bush popisují že, technologie třetí generace zahrnují zejména organické fotovoltaické články (OPV), solární články citlivé na barvivo (DSSC) a perovskitové solární články. Tyto články slibují nižší výrobní náklady, flexibilnější možnosti použití a teoretická vyšší hranice účinnosti. Potenciál je u těchto článků vysoký, avšak je třeba vyřešit problémy se stabilitou, trvanlivostí a složitostí výrobních procesů (Futcher 2016; Bush, 2017).

Na obrázku číslo 1 si můžeme prohlédnout, jak vypadají příklady jednotlivých fotovoltaických panelů různých generací.

1st Generation (Wafer-Based Technology)



- c-Si
- mono-Si
- multi-Si
- III-V Single Junctions

2nd Generation (Thin-Film Technology)



- a-Si
- a-Si:H
- μ -Si
- CdTe
- CIGS
- CdS

3rd Generation (Organic Technology)



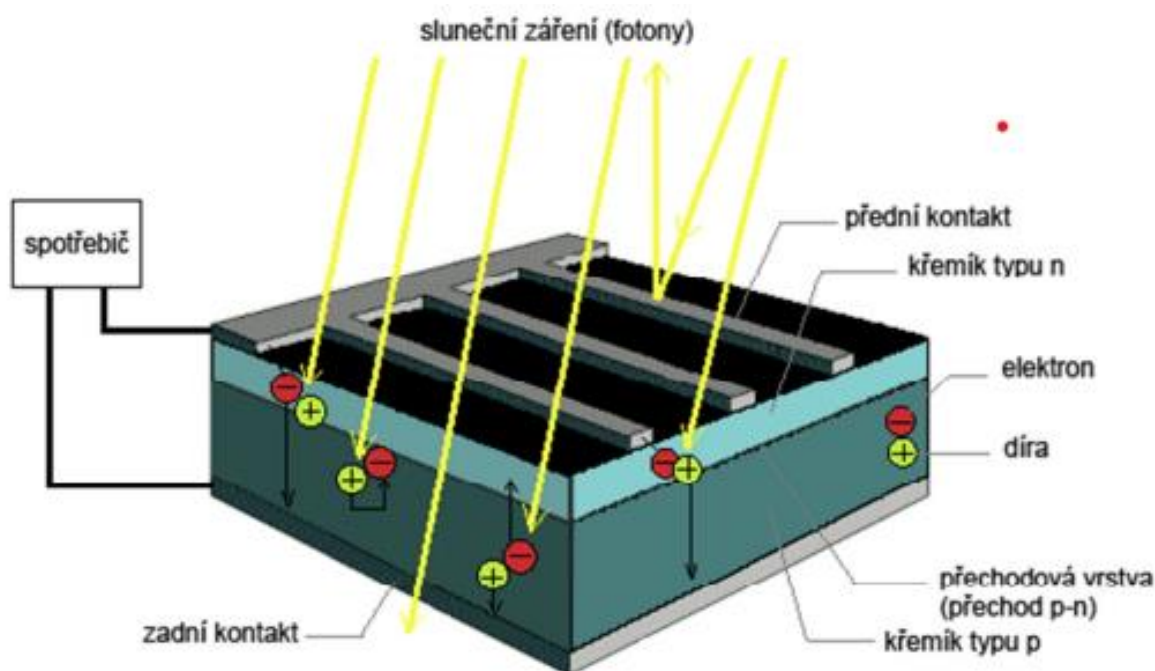
- Perovskite
- Dye-sensitised (DSSC)
- CZTS
- Organic (OPV)
- Polymer
- Quantum Dot
- Multi-Junction

Obrázek 1: Generace FV panelů dle materiálu výroby (Lameirinhas, 2022)

2 Konstrukce a princip fotovoltaiky a fotovoltaických elektráren

2.1 Základní princip fungování fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek je širokoplošná polovodičová součástka s přechodem typu PN, jež má schopnost měnit solární záření na elektrickou energii, a to díky fotovoltaickému jevu. Článek je složen z více vrstev, tou základní a velmi důležitou vrstvou je vrstva tvořená z krystalického křemíku neboli typ P (pozitivní pól), na této křemíkové vrstvě se vyskytuje druhá důležitá vrstva, která představuje typ polovodiče N (negativní pól). Spojením těchto dvou polovodičů vytvoříme P-N přechod, který od sebe vrstvy P a N odděluje. V situaci, kdy je fotovoltaický článek vystaven solárnímu záření, je na P-N přechodu tvořeno elektrické napětí. Články produkují stejnosměrné napětí a proud. Pro navýšení efektu, který je v rámci jednoho fotovoltaického článku poměrně malý, se články spojují do velkoplošných panelů (Straková, 2010). Tento princip si pro lepší představu můžeme prohlédnout graficky na obrázku číslo 2.



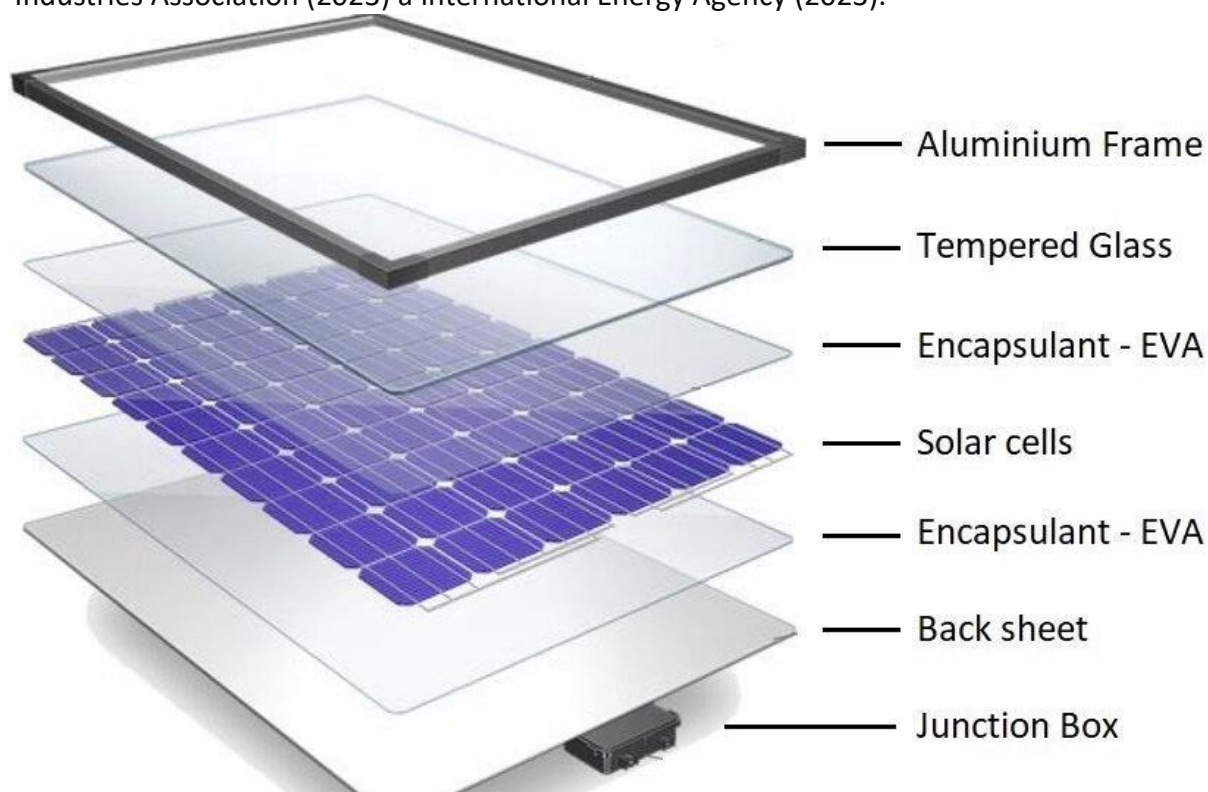
Obrázek 2: Základní popis FV buňky 1 (Quaschnig, 2010)

2.2 Fotovoltaický efekt

Fotovoltaický efekt vzniká v polovodičových materiálech, jako je křemík, který je často užíván jako P vrstva polovodiče ve fotovoltaických článcích. V momentě, kdy solární záření dopadá na povrch článku polovodičového materiálu, fotonová energie způsobuje excitaci elektronů ve valenčním pásmu, to způsobuje uvolnění těchto elektronů. Při tomto procesu dochází k rozdělení elektronů a děr v polovodičovém materiálu. Elektrony se pohybují směrem k jednomu konci článku, zatímco kladně nabitá místa, zvaná „díry“ neboli hmotné nosiče náboje, se pohybují opačným směrem. Tento rozdíl v elektrickém potenciálu produkuje elektrické pole uvnitř fotovoltaického článku, což umožňuje vytváření elektrického proudu, který je při správném použití vyveden ven z fotovoltaického článku a dále využit (Lynn, 2011.).

2.3 Konstrukce fotovoltaického panelu

Fotovoltaický (PV) panel, někdy také solární panel, je vytvořen pro produkci elektrické energie přeměnou ze slunečního záření. Obrázek 3 ukazuje postupné vrstvení fotovoltaického panelu. Popisy jednotlivých částí jsou popsány na základě informací dostupných z institucí Solar Energy Industries Association (2023) a International Energy Agency (2023).



Obrázek 3: Konstrukce fotovoltaického panelu (Clean Energy Reviews, 2022)

Fotovoltaické články

Základní a nejdůležitější komponenty fotovoltaického panelu, které přeměňují solární záření na elektrickou energii, jsou fotovoltaické články. Ty bývají nejčastěji vyrobeny z polovodičových materiálů, nejtypičtějším z nich je křemík. Ten je obohacen o další materiály, za vzniku kladných (P-ty) a záporných (N-ty) vrstev. Článek, na který dopadá solární záření, excituje elektrony, čímž vzniká elektrický proud.

Skleněný kryt

Přední strana fotovoltaického panelu bývá opatřena vrstvou temperovaného skla s antireflexním efektem. Tato velice odolná skla slouží k tomu, aby chránily fotovoltaické články před vnějšími a environmentálními vlivy (déšť, prach, silný vítr a nečistoty). Na sklo je ovšem kladena podmínka, že pro správné fungování a efektivitu panelu musí propouštět co nejvíce slunečního záření.

Encapsulační vrstvy

Encapsulant bývá nejčastěji tvořen materiálem jako je EVA (ethylen-vinyl acetát). Tyto vrstvy se používají pro obalování fotovoltaických článků a jejich účelem je zejména poskytnutí přilnavosti mezi skleněným předkem a zadní vrstvou panelu. Tyto vrstvy mají především ochránit fotovoltaické články před vlhkostí a mechanickým poškozením a stejně jako ochranná skla musí zajišťovat co nejvyšší propustnost světla.

Zadní vrstva

Zadní strana panelu je obvykle vyrobena z odolného, nepropustného materiálu, který poskytuje další ochranu proti environmentálním podmínkám. Zadní vrstva také pomáhá izolovat a chránit vnitřní komponenty panelu.

Rám

Většina fotovoltaických panelů je umístěna na hliníkovém rámu, který poskytuje strukturální stabilitu, což umožňuje snazší montáž a instalaci. Rám chrání spodní stranu strany panelu a bývá využíván pro elektrické uzemnění panelu.

Spojovací skříňka

Součástka, která se nachází se na zadní straně panelu. Obsahuje elektrické připojení, které navazuje propojení panelu s dalšími panely (panely se dají zapojovat jak do série, tak paralelně) zároveň zajišťuje spojení s dalšími elektrickými obvody a systémy, které slouží jako řídicí jednotky fotovoltaických elektráren. Spojovací skříňka velmi často obsahuje bypassové diody, sloužící jako pojistka proti přehřátí, které může nastat v důsledku zastínění panelu.

Připojovací kabely

Kabeláž vycházející ze spojovací skříňky, která je nutná pro připojení solárního panelu k měniči a dalším panelům v systému. Jejich konstrukce je speciálně vytvořena pro mnohaleté odolávání povětrnostním vlivům, možnosti poškození zvířaty aj.

2.4 Stacionární fotovoltaické elektrárny

Stacionární fotovoltaická elektrárna se skládá z několika klíčových komponent navržených pro přeměnu slunečního světla na elektřinu bez nutnosti pohybu za sluncem.

Solární panely

Základní komponenty, které přeměňují sluneční světlo na stejnosměrný proud. U stacionárních elektráren jsou panely montovány pod pevným úhlem určeným podle zeměpisné šířky a jsou optimalizovány a nastaveny pro největší expozice slunci během roku.

Montážní systém

Konstrukce, které drží solární panely na místě. U stacionárních systémů je montážní úhel nastaven podle geografické polohy pro optimalizaci expozice slunci. Běžné jsou montáže na zemi a montáže na střeších aj.

Měniče

Zařízení, která přeměňují stejnosměrnou elektřinu ze solárních panelů na střídavou, která je kompatibilní s elektrickou sítí a může být využívána pro další potřeby. Pro rozsáhlé PV

elektrárny jsou běžně používány centrální měniče, menší systémy využívají zejména měničů řetězových.

Elektrická infrastruktura

Zahrnuje veškeré nezbytné kabeláže, spínače a ochranné prvky (jako jsou pojistky a jističe) pro bezpečný transport elektřiny ze solárních panelů k měniči a poté do sítě nebo pro koncové použití.

Systém monitorování a řízení

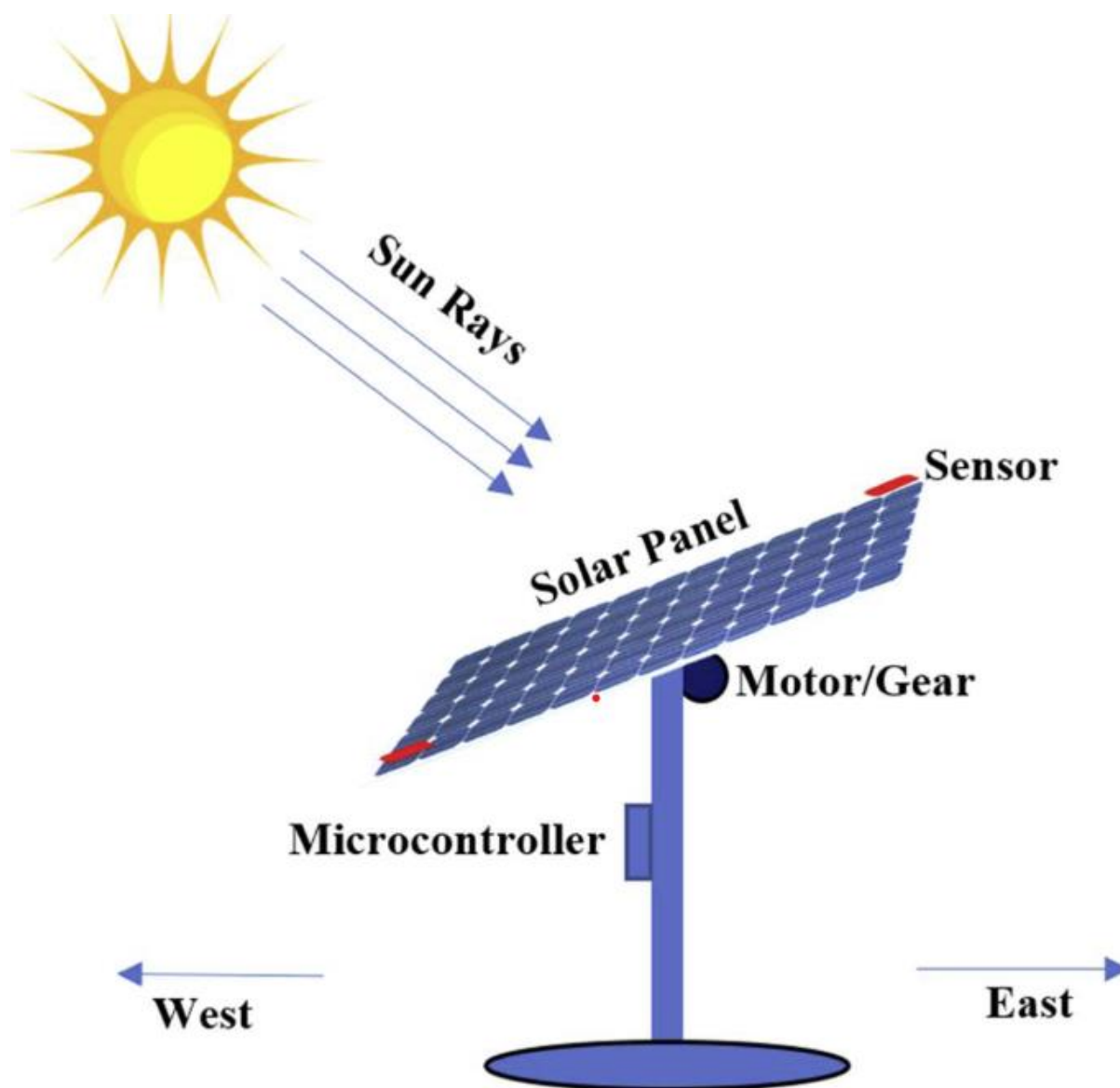
Technologie, která sleduje výkon celého fotovoltaického systému, včetně výroby energie a stavu systému. Pomáhá optimalizovat výkon, indikuje závady na systému a nutnost údržby.

Systém skladování energie (není vždy přítomno)

Baterie nebo jiné technologie skladování elektrické energie mohou být integrovány pro skladování nadbytečné energie vyrobené během velmi slunečných časových úseků, jejich využití se dimenzuje především na dobu, kdy je solárního záření nedostatek, a to přes zimní měsíce anebo v noci (Solar Energy Industries Association, 2023; International Energy Agency, 2023).

2.5 Rotační fotovoltaické elektrárny

Systém rotačních fotovoltaických panelů, na rozdíl od stacionárních systémů, zvyšuje efektivitu výroby elektrické energie tím, že za pomoci systému čidel a motorů orientuje panely do ideální expozice vůči slunci. Na trhu se setkáme zejména se systémy s jednoosou nebo dvojosou rotací, přičemž jejich výběr je závislý na geografické poloze, energetických potřebách a cenových faktorech. Využití takových systémů může výrazně zvýšit výkon solárních panelů ve srovnání se stacionárními instalacemi (Baouche, 2022). Princip fungování těchto panelů je popsán na obrázku 4.



Obrázek 4: Princip rotačního panelu (Musa, 2023)

Systemy s přímým napájením

Se systémy s přímým napájením se lze nejčastěji setkat zpravidla na nedostupných a odlehlých místech (Shah, 2010). Tyto systémy pracují na principu přímého napájení spotřebičů, například v rozvojových zemích, kde není dostatečná síť elektrické energie jsou lidé schopni využívat solárních panelů, které mohou nahradit generátory energie typu dieselagregát. Nevýhodou těchto systémů je, že ve dnech, kdy není dostatek solárního svitu, systém nemusí vyrábět dostatek energie na pokrytí potřeb (Quasching, 2010).

Malé mobilní systémy

Tyto systémy pracují na principu napájení malých spotřebičů jako například nabíjení náramkových hodinek, mobilních telefonů, hudebních přehrávačů či kamer a fotoaparátů. V dnešní době, kdy je fotovoltaika na vzestupu zájem o tyto malé napájecí systémy roste (Mujgoš, 2023).

Hybridní systémy

Hybridními systémy se rozumí fotovoltaická elektrárna, která je obohacena o další zdroj energie, kterým může být například větrná elektrárna. Tyto systémy jsou využívány zejména v oblastech pro ně vhodných, tam, kde je třeba zajistit vyšší dodávky energie, s nutností celoročního provozu, kdy při nedostatečném slunečním svitu, může sekundární zdroj nahradit dodávku energie (Mujgoš, 2023).

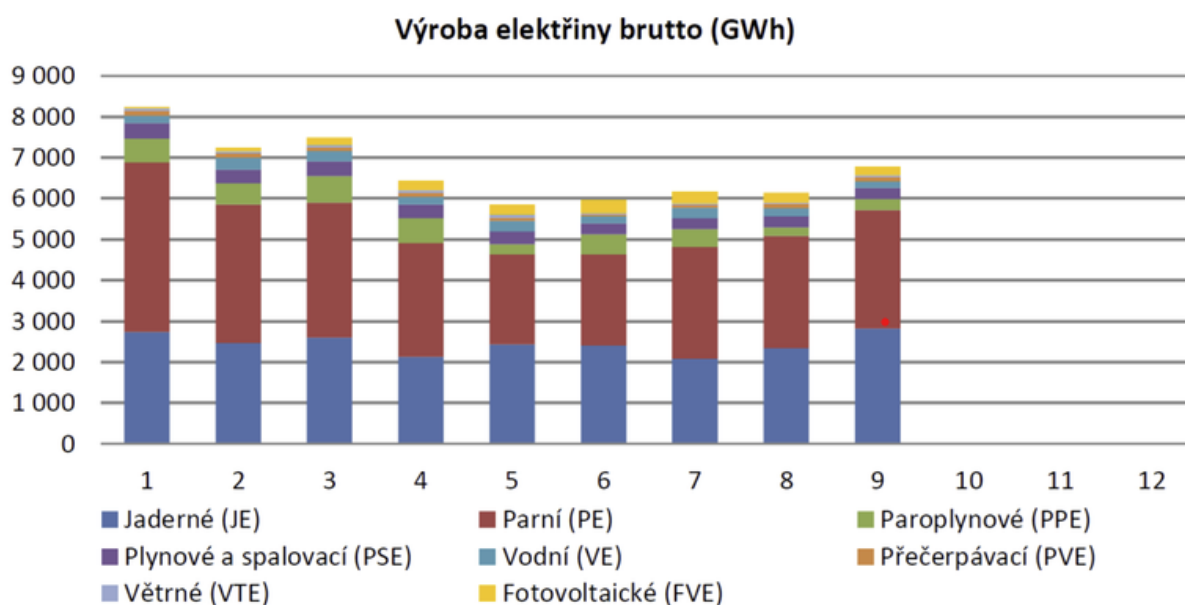
Síťové systémy (on-grid)

Síťové systémy (on-grid) jsou přímo připojené k distribuční soustavě. Tyto systémy musí být vybaveny dalšími zařízeními, jako jsou inventory (měniče), které mění stejnosměrné produkované napětí na napětí střídavé, které se používá v rozvodné elektrické síti. Tyto inventory mají ztrátu až 5 % (Quaschning, 2010).

3 Situace výroby fotovoltaické energie v České republice a ve světě

3.1 Současná výroba elektřiny z fotovoltaické technologie

V roce 2023 Česká republika zaznamenala významný růst výroby solární energie, když přidala téměř 1 GW solární kapacity. Tento růst byl primárně popoháněn nárůstem instalací solárních panelů na střechách domácností, který oproti předchozímu roku vzrostl o 70 %. Většina nových instalací byla určena pro domácí fotovoltaické elektrárny, podpořené významnou investicí země do programu *Nová zelená úsporám*. Na konci roku 2023 dosáhl celkový výstup solárních elektráren v České republice téměř 3,5 GW, s více než 170 000 připojenými fotovoltaickými elektrárnami, z nichž většina byla na střechách rodinných domů (Čermáková, 2024). I při takovémto růstu je však vhodné uvést situaci do kontextu, kdy můžeme pozorovat na obrázku 5, že výroba energie z fotovoltaických zdrojů je v České republice v poměru s ostatními zdroji minoritní záležitostí.



Obrázek 5: Výroba elektřiny v ČR dle zdroje (Josef Hodbod, 2022)

3.2 Fotovoltaika ve světě

Využívání fotovoltaických technologií pro výrobu elektřiny celosvětově vzrůstá. Dle odhadů bylo v roce 2021 vyrobeno až 5 % světové elektrické energie právě těmito solárními zdroji. To se může na první pohled zdát jako malé číslo, které se však vyznačuje svou rostoucí tendencí. Součtem výkonu všech fotovoltaických systémů světa docházíme k číslu 700 GW, které

v korespondenci s názory odborníků, naroste během pár let o dalších 300 GW. Podle dat zveřejněných Světovou bankou má téměř každá země světa potenciál k vyrábění vlastní solární energie, která je schopná úplně nahradit běžně užívanou elektřinu (Solid Sun, 2024).

Evropská unie

Solární energie je nejrychleji rostoucím zdrojem energie v EU. Náklady na solární energii se v letech 2010-2020 snížily o 82 %, což z ní činí nejkonkurenceschopnější zdroj elektřiny v mnoha částech EU. Kapacita výroby elektřiny ze slunečního záření v EU neustále roste, v roce 2021 byla odhadovaná výroba 164 GW, v roce 2022 to bylo 204 GW a v roce 2023 dosáhla téměř 260 GW (European commission, 2023).

Asie

Čína by se dala považovat za hlavního propagátora a využívatelů fotovoltaické technologie. Nejenže je Čína hlavním výrobcem a dodavatelem komponentů pro fotovoltaiku, je také největším producentem solární energie na světě. Za rok 2021 dělá její celková produkce solární energie 307 GW, což je více než 35 % světové kapacity. Představuje také obdobné procento celkového počtu globálních instalací a bezkonkurenčně tak obsazuje první místo na trhu.

Čínská produkce energie ze slunce je nyní třicetkrát větší než součet výkonu všech českých instalací. Dokonce i USA, které šlapou Číně na pátý, představují hrubým součtem energie pouhou třetinu celkové produkce Číny. (Solid Sun, 2024) Jako další stát na území Asie, který je možné uvést, je například Japonsko, které je dalším silným producentem solární energie, dle Yadava (2024) v roce 2023 vyrobilo Japonsko 70 GW elektrické energie z fotovoltaických zdrojů.

Austrálie

Austrálie, přestože není tak velkolepým producentem jako Čína, je prvním státem v žebříčku s největším průnikem slunečního záření. Výroba solární energie tvoří v Austrálii 15,5 %, což v přepočtu vychází 637 W na obyvatele. Austrálie je jednou ze zemí s nejpříznivějšími geografickými a meteorologickými podmínkami pro instalaci fotovoltaických elektráren, proto lze předpokládat, že využívání fotovoltaických technologií bude v tomto regionu i v budoucnu na vzestupu (Solid Sun, 2024).

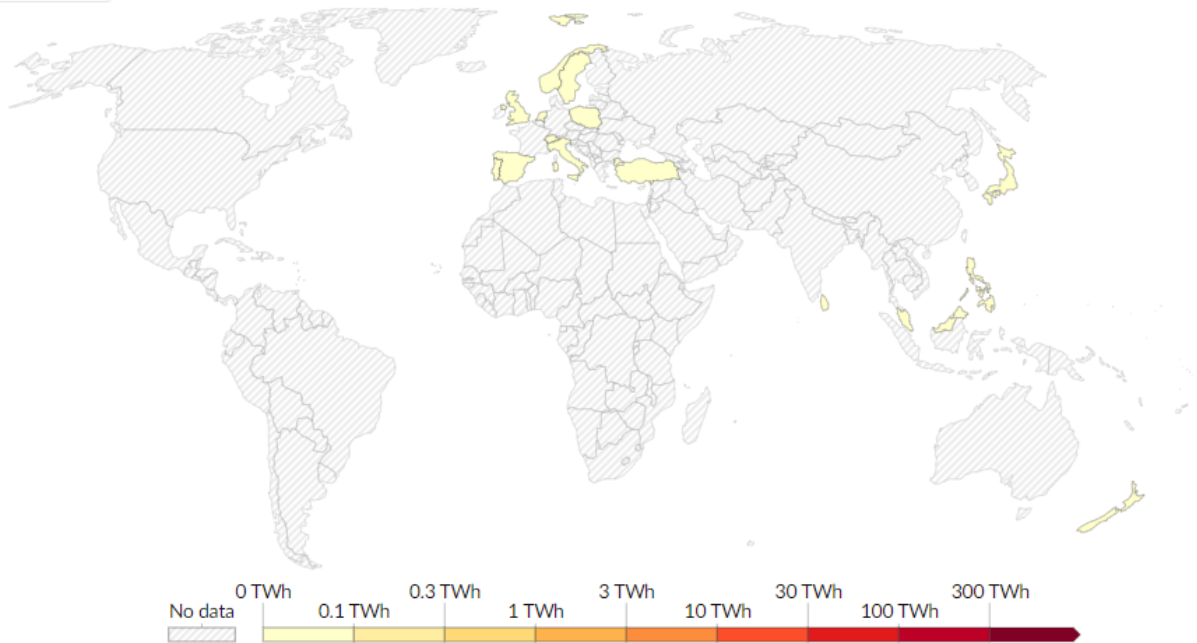
USA

Podle zprávy Laboratoře pro obnovitelnou energii pokrývá celková plocha instalovaných fotovoltaických elektráren ve Spojených státech jedno Michiganské jezero, což je přepočtu 22 000 čtverečních mil nebo též 58 000 km². Vědci odhadují, že by 6 % celkové rozlohy půdy stačilo k poskytnutí energie celé zemi. V současnosti jsou USA schopné poskytovat zelenou energii ze slunce 18 milionům domácností (Solid Sun, 2024). Plánované solární projekty v USA zvýší kapacitu solárních elektráren o 38 % z 95 gigawattů (GW) na konci roku 2023 na 131 GW na konci roku 2024. Očekáváme, že kapacita větrné energie zůstane do konce roku 2024 relativně stabilní na úrovni 156 GW oproti 149 GW v prosinci 2023 (U.S. Energy Information Administration, 2024).

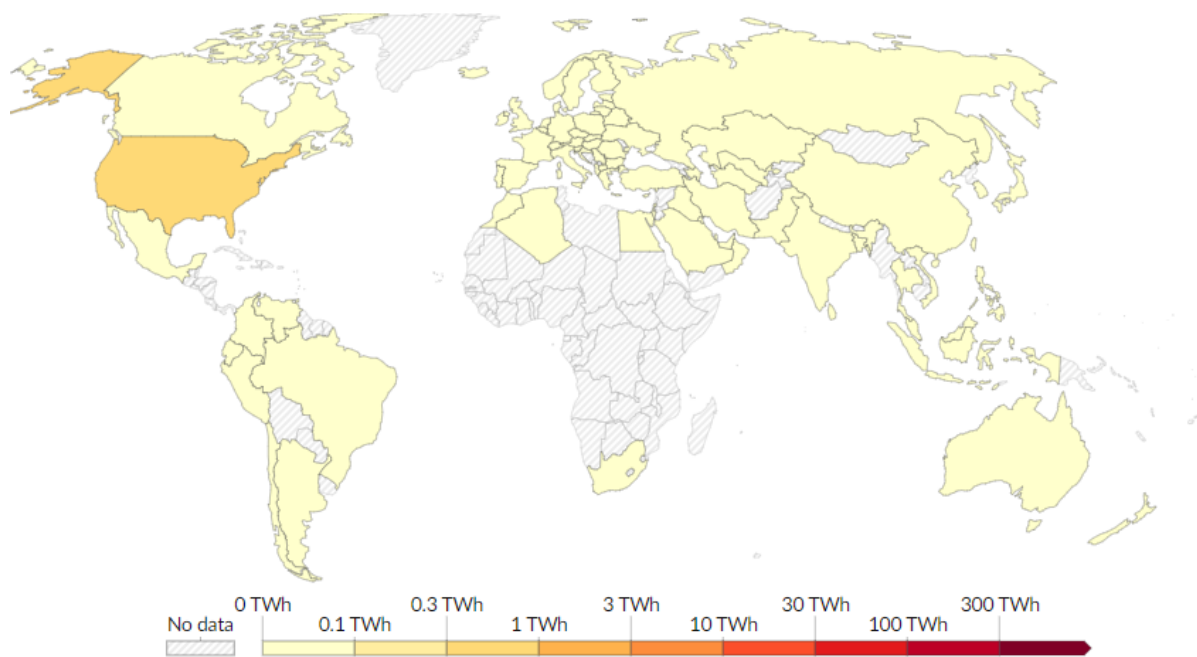
Produkce solární energie dle regionů geograficky

Na následujících mapách 1–3 a grafu 1 (Our World in Data, 2024) si můžeme prohlédnout zvyšující se celosvětový trend výroby solární energie, kdy je zřejmé, že od roku 1965 až do roku 2022 je razantně zvýšená výroba téměř ve všech regionech. Nejvyšší výrobu mají t státy, které k tomu mají dostatečný prostor čili mohou využívat půdu pro klasické činnosti, jako zemědělství a lesnictví, ale právě i pro výrobu „zelené“ energie. Další faktor, který je z map zřejmý, je ten, že země s nejvyšší produkcí fotovoltaické energie mají silnou ekonomickou základnu a mohou si dovolit jak velké solární projekty, tak podporu malých skupin a jednotlivců dotacemi na pořízení malých lokálních zařízení, například Čína, USA. Jako třetí a poslední faktor je třeba neopomenout geografickou polohu, kdy je zřejmé, že státy, s výhodným umístěním vůči slunci budou investovat do fotovoltaické energie mnohem větší prostředky, které se jim v budoucnu vrátí v množství vyprodukované energie. Tento trend je možné sledovat například na Africkém kontinentu, kdy i přesto, že se jedná o jednu z nejchudších oblastí, co se ekonomiky týká, tak jejich výhodné geografické rozložení kolem rovníku naskýtá ideální příležitosti pro tuto technologii. Pokud bychom tedy chtěli věci uvést do kontextu a bilancovat jejich rozšíření v prostoru i čase, musíme konstatovat, že fotovoltaická technologie si díky svému poměrně jednoduchému principu a použití nalezne místo jak ve vyspělých, ekonomicky silných státech, které v průběhu času chtějí „zezelenit“ výrobu své elektrické energie, tak ve státech rozvojových, kde tato technologie může přinést

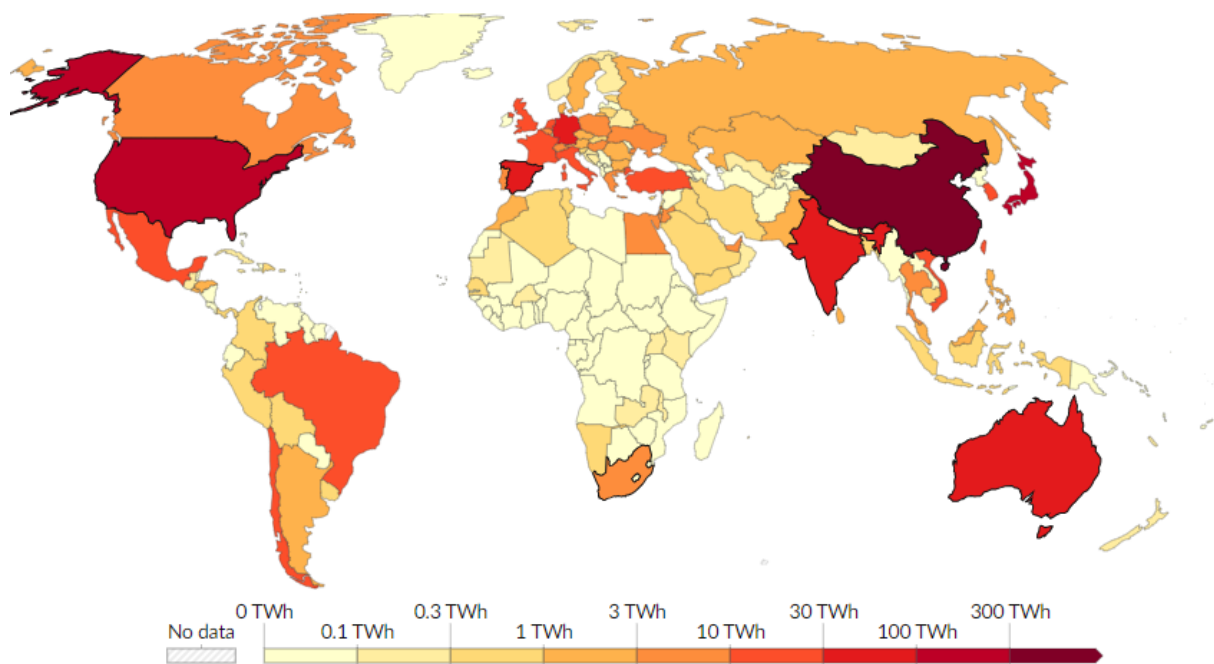
prospěch například v nedostupných oblastech nebo u nejnižší vrstvy obyvatelstva a zajistit tak pokrytí elektřinou.



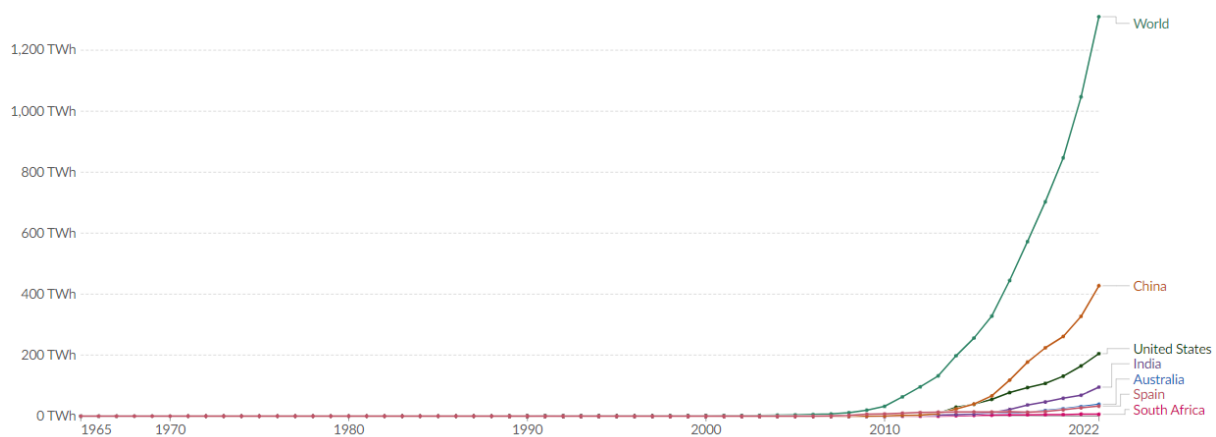
Mapa 1: Výroba solární energie globálně v roce 1965 (Our World in Data, 2024)



Mapa 2: Výroba solární energie globálně v roce 1990 (Our World in Data, 2024)



Mapa 3: Výroba solární energie globálně v roce 2022 (Our World in Data, 2024)



Graf 1: Vývoj výroby solární energie v průběhu 20. a 21. století (Our World in Data, 2024)

4 Vliv FVE na vegetaci a kvalitu prostředí

4.1 Faktory ovlivňující vegetaci

Primárním cílem při posuzování vlivu fotovoltaických elektráren na vegetaci bylo třeba zvolit faktory, které ji nejvíce ovlivňují kvalitu prostředí, ve kterém ona vegetace roste, a které ji následně ovlivňují v průběhu jejího života zde. Popisy následujících faktorů jsou uvedeny na základě popisů Oregon State University Extension Service (2008).

Světlo

Světlo je spolu s oxidem uhličitým a vodou nezbytné pro fotosyntézu, proces, při kterém rostliny vyrábějí energii. Dle druhu rostliny je adekvátní množství světla nezbytné pro zdravý růst.

Voda

Voda je nezbytná pro přenos živin z prostředí do rostliny skrze kořenový systém, pro fotosyntézu a pro udržení vnitřní struktury rostliny. Vysušení i přemokření může vegetaci poškodit nebo při dlouhé expozici těmito fenomény změnit druhové uspořádání.

Kvalita půdy

Půda poskytuje živiny, které rostliny potřebují ke svému růstu. Její struktura, chemismus, pH a obsah živin jsou faktory, které kriticky ovlivňují kvalitu, růst a vývojový cyklus rostlin.

Teplota

Rostliny obecně vyžadují ke správnému růstu určité teplotní rozmezí. Extrémní teploty, ať už vysoké nebo nízké, mohou vegetaci zásadním způsobem ovlivnit, jak pozitivním, tak v negativním smyslu.

Kvalita vzduchu

Čistý vzduch je důležitý pro zdraví rostlin. Znečišťující látky, jako je ozón, oxid siřičitý a oxidy dusíku se mohou průduchy dostat do vnitřního fyziologického oběhu rostliny, zde mohou

poškodit vnitřní struktury a specializované buňky, tím bránit fotosyntéze, zdravému vývinu rostliny a adekvátnímu růstu.

Dostupnost živin

Vegetace tak, jako každý živý organismus, potřebuje ke svému růstu a správnému vývoji dostatek správných živin. Nedostatek nebo nadbytek živin, jako je dusík, fosfor a draslík, může ovlivnit rychlost růstu, správný vývoj struktur rostliny anebo omezit kvetení.

Prostor

Rostliny potřebují ke svému růstu prostor. Přeplněnost může vést k soutěži o světlo, vodu a živiny, což může rostliny stresovat a vést ke špatnému růstu, náchylnosti k patogenům a dalším negativním projevům.

Vzdušná vlhkost

Mnohé rostliny potřebují ke svému růstu určitou úroveň vzdušné vlhkosti. Nízká vzdušná vlhkost může vést k vysychání, zatímco vysoká vlhkost může podporovat možné infekce houbovými patogeny.

Škůdci a choroby

Hmyz, býložravci a patogeny mohou zásadně ovlivnit zdravotní stav rostlin. Zdravé rostliny často odolávají škůdcům a chorobám lépe než rostliny vystavené stresu.

Vliv člověka

Lidské činnosti, jako je zahradničení, zemědělství a terénní úpravy, mohou významně ovlivnit zdraví rostlin, kvalitu a kvantitu vegetace, a to jak pozitivně, tak negativně, v závislosti na používaných postupech.

Genetické faktory

Genetická výbava rostliny určuje její růstový habitus, odolnost vůči stresu, odolnost vůči chorobám a celkovou vitalitu.

Opylení

U rostlin, které k rozmnožování a tvorbě plodů potřebují opylení, ať už entomogamicky neboli za pomoci hmyzu, nebo anemogamicky, tedy za pomoci větru, je přítomnost vhodných faktorů, které podporují opylení, velice důležitá pro další genezi populace (Oregon State University Extension Service, 2008).

4.2 Vliv FVE na mikroklima

Mikroklima je definováno jako klima relativně malé oblasti, které se liší od okolního klimatu vlivem faktorů, jako je topografie, vegetace, vodní plochy a umělé struktury. Tyto místní klimatické podmínky mohou mít významný vliv na životní prostředí, protože ovlivňují teplotu, vlhkost a větrné poměry těsně nad a pod zemským povrchem a v korunách vegetace. Složitost mikroklimatu je nezbytná pro udržení rozmanité škály forem života, protože různým druhům se daří v různých klimatických podmínkách. Mikroklima závisí na faktorech, jako je teplota, vlhkost, vítr a turbulence, rosa, mráz, tepelná bilance a vypařování. Zásadní roli při utváření těchto podmínek hraje typ půdy, vegetace a topografie, které ovlivňují absorpci a zadržování vlhkosti v půdě, a tím i samotné mikroklima. Například městské oblasti a všeobecně struktury vytvořené antropologicky mohou vytvářet „tepelné ostrovy“ s výrazně vyššími teplotami než jejich okolí, a to v důsledku materiálů pohlcujících teplo, které se používají v budovách a na chodnících (Britannica, 2022)

Z výsledků studií Vervleosem et al. (2022), Armstrong et al. (2016), Uldrian et al. (2021) a Luo et al. (2023) vyplývá, že velké komplexy fotovoltaických elektráren mají velkou celkovou roli v ovlivnění místního mikroklimatu s návazností na život vegetace. Změna mikroklimatu se zejména týká změny teploty půdy a vzduchu, změny ve vodním režimu půdy, snížení průchodnosti světla pod panely a snížení přístupu k živinám, změn půdního chemismu a vlivu na opylovače, což může ovlivňovat diverzitu vegetace a celkové fungování místního ekosystému. Z výsledků studií lze ovšem usuzovat, že oproti konvenčnímu hospodaření může využití půdy na fotovoltaické elektrárny přinést menší dopady na vyčerpávání půdy a biodiverzitu.

4.3 Vliv FVE na půdu

Vliv na využívání a kvalitu půdy

Většina nově instalovaných fotovoltaických elektráren je umístěna na pevnině a mohou se stát příčinou globální změny využití půdy (dále i „LU“, nebo „land use“) (Gibson, 2017). Vliv fotovoltaických elektráren na využití půdy závisí na několika faktorech, jako je topografie, plocha pokrytá fotovoltaickými elektrárnami nebo typ využití půdy. Může se týkat jak transformace půdy (změna využití půdy), tak záboru půdy (využití půdy po určitou dobu) (Aman et al. 2015). Jelikož se pro umístění solárních zařízení (např. velkých a užitkových solárních projektů) stále častěji využívá zejména zemědělská půda, dále pak křoviny, pastviny a travnaté plochy. Bylo by vhodnější, aby se pro tyto projekty využívalo spíše marginálních půd, což by mohlo zabránit záboru zemědělské půdy (Guerin, 2017).

Odstranění vegetace z oblastí, kde jsou instalovány fotovoltaické areály, vystavuje půdu procesům, jako zhutnění, eroze aj., což může časem vést k degradaci půdy a ztrátě její produktivity, zejména pokud se jedná o vysoce kvalitní půdy (Armstrong, 2016). V závislosti na struktuře půdy mohou být částice bahna a jílu snadno transponovány vodou nebo větrem, což urychluje degradaci půdy, ale také vede k širokému spektru dopadů, od dopadů na lidské zdraví skrze špatnou kvalitu ovzduší způsobenou mechanickými nečistotami v ovzduší, přes dopady na biogeochemické nebo hydrologické cykly, až po možnost dlouhodobé desertifikace půdy (Hernandez, 2014).

Vlivy LU mohou ovlivnit kvalitu ekosystému dalšími dvěma způsoby, a to tak, že úroveň zásoby exergie (energie, která lze částečně změnit mechanickou prací) a schopnost řídit toky exergie lze změnit přímo (např. ořezem nebo sklizní biomasy) nebo nepřímo změnou kvality stanoviště (např. používáním hnojiv nebo zavlažováním). Tyto změny mohou vést k jinému typu klimaxové situace s jinou maximální úrovní exergie (Vernloesen, et al. 2022).

Tsoustos (2005) uvádí, že dopady na využití půdy závisí na typu technologie a rozsahu projektu. Například solární tepelné a distribuované fotovoltaické systémy malého rozsahu obecně vyžadují minimální dodatečné plochy, protože je lze integrovat do infrastruktury. Naproti tomu rozsáhlé fotovoltaické nebo solární tepelné elektrárny mohou vyžadovat značné množství půdy, což může mít dopad na přírodní ekosystémy. Možná překvapivě to ovšem nemusí být negativní záležitost, kdy dle studie Vernloesena et al. (2022) vyhodnocení ukázalo,

že konvenční zemědělské využití půdy (pšeničné pole) má ve srovnání s areály fotovoltaických elektráren (travnaté plochy) vyšší celkový dopad na půdu, vodu, vegetaci a biologickou rozmanitost. To by mohlo naznačovat, že částečná přeměna intenzivního zemědělství právě na tyto fotovoltaické areály by mohla být přínosná pro životní prostředí, zejména z hlediska snížení dopadů na půdu a biologickou rozmanitost.

Je třeba brát v potaz, že posouzení dopadu LU Vernleosenem et al. (2022) bylo provedeno pro středomořské klima. Všech 17 hodnot ukazatelů bylo rozděleno do kategorií hodnocení využití půdy. Tyto kategorie si můžeme detailně prostudovat na obrázku 6. U každé kategorie vynikají některé skutečnosti. U tématu „půda“ jsou všechny hodnoty indikátorů s výjimkou indikátoru „nasycení základny“ vyšší u pšeničného pole než u solární farmy. Celkové skóre využití půdy je tedy také vyšší. Pro „vodu“ nebyly k dispozici přesné údaje pro „povrchový odtok“ a opět je hodnota pro ostatní ukazatele a celkové využití půdy vyšší pro pšeničné pole. U ukazatele „vegetace“ je využití půdy pšeničného pole jen o něco horší. Pšeničné pole vykazuje horší výsledky (nejvyšší hodnoty) u „indexu listové plochy“, „volné čisté primární produkce“ a „biomasy plodin“. U ostatních dvou ukazatelů si vedou přibližně stejně. Posledním tématem je „biodiverzita“, u níž je skóre využití půdy rovněž vyšší u pšeničného pole ve srovnání s areálem fotovoltaické elektrárny. Pšeničné pole dosahuje horších výsledků u všech ukazatelů, s výjimkou ukazatele „pokryvnost exotickými druhy“. Celkově pšeničné pole vykazuje horší výsledky než areál fotovoltaické elektrárny, takže celkové využití půdy je pro pšeničné pole vyšší než pro solární park. Indikátory byly vybrány tak, aby bylo možné umístit referenci do nulového bodu. Výsledky dopadu byly považovány za kladnou hodnotu, takže antropogenně pozměněné ekosystémy by získaly kladné skóre dopadu. Existují však případy, kdy je možné získat záporné skóre dopadu (např. zavedení nového druhu, který zvyšuje pufrční kapacitu, aniž by se změnila kvalita ekosystému). Obojí využití půdy mělo kladné skóre, což znamená, že mělo negativní dopad ve srovnání s klimaxovou vegetací. A pšeničné pole si vedlo hůře u každého ze čtyř témat „půda“, „voda“, „vegetace“ a „biodiverzita“, a to především kvůli používání biocidů, hnojiv, zpracování půdy atd., které jsou v solárních parcích omezené nebo vůbec neexistují.

	Wheat	Solar	Land Use	Wheat	Solar
Soil compaction	91	39			
Soil structure disturbance	37	0			
Soil erosion	100 *	0	Soil	40	18
Cation exchange capacity	84	30			
Base saturation	-13	66			
Evapotranspiration	26	3			
Surface runoff	0	0	Water	9	1
Total aboveground living biomass	91	96			
Leaf area index	9	0			
Free net primary production	26	0	Vegetation	32	25
Crop biomass	26	0			
Vegetation height	89	90			
Artificial change in water balance	100	0		•	
Liming, fertilisation, impoverishment	100 *	0			
Biocides	100 *	0	Biodiversity	31	15
Canopy cover of exotic species	1	46			
Number of species	94	65			
Total	961	435			
Average	56.5	25.6			

* The values are cut off at the maximum value of 100.

Obrázek 6: Rozdíly vlivu LU na půdu u areálu fotovoltaické elektrárny a pšeničného pole (Vernleosen et al. 2022)

Turney (2021) ve své práci, porovnával velké fotovoltaické instalace oproti získávání energie spalováním uhlí. Tato studie přišla se zajímavými výsledky, které se týkají intenzity využití půdy v případě energie získávané ze slunce v porovnání s energií získávanou skrze spalování uhlí. Studie dochází k závěru, že solární elektrárna zabírá méně půdy na vyrobenou kWh než uhelná elektrárna po dobu životnosti delší než zhruba 25 let. To částečně vyvrací klasickou představu o intenzitě využívání půdy v případě velkých fotovoltaických elektráren. Zároveň však upozorňuje, že počáteční zřízení FVE v zalesněných oblastech může vést k emisím CO₂ v důsledku kácení vegetace. Navzdory tomu zůstávají celkové emise solární energie po celou dobu jejího životního cyklu mnohem nižší než emise z elektřiny vyráběné z uhlí.

Při porovnání umístění solárních elektráren v lesích, na pastvinách nebo v pouštích jsou zřejmé rozdíly. Výpočty ukazují, že solární elektrárny v lesnatých oblastech uvolní výrazně více CO₂ než v pouštních oblastech, a to dvakrát až čtyřikrát, s celkovými emisemi mezi 16 a 86 g CO₂ kWh⁻¹, což je způsobeno především kácením vegetace, které je nezbytné pro uvolnění prostoru pro areál fotovoltaické elektrárny, ale také částečně sníženým osluněním v lesích v důsledku mraků. Všechny dopady na životní prostředí se v přepočtu na kWh zvyšují v důsledku nižšího oslunění ve vysokohorských oblastech nebo oblastech, kde je nízký průměrný počet slunečných dnů za rok, protože v rámci životního cyklu elektrárny se vyrobí méně kWh elektřiny. Nejpriznivější dopad na životní prostředí mají areály fotovoltaických elektráren umístěné ve skutečných pouštích a dalších místech, kde je sluneční oslunění

intenzivní a kde se nevyskytuje divoká příroda, která by mohlo být realizací těchto projektů poškozena. Naopak výsledky čínských studií (Luo et al. 2023; Liu, et al. 2019) prokazují, že umístění areálů velkých fotovoltaických celků může mít na exponované, desertifikované a jinými způsoby negativně ovlivněné oblasti, pozitivní vliv.

Luo et al. (2023) přišli s poznatkem, kdy ve svém bádání, v areálu čínské fotovoltaické elektrárny v pouštní oblasti, měřili chemické složení půdy uvnitř a mimo místa FVE, kdy zjistili, že koncentrace tří chemických prvků (Ca, Cl a S), viz obrázek 7, a elektrická vodivost uvnitř areálu byly mnohem vyšší než mimo místa FVE. Elektrická vodivost je ukazatelem obsahu soli a úrodnosti (Smith, 1997). Luo et al. (2023) uvádí, že na povrchu některých půd ve zkoumané fotovoltaické elektrárně se nacházela vrstva bílé solné krusty, jejíž částice byly jemné a husté. K tomu obvykle dochází v zasolených alkalických půdách s převahou Na⁺ a Cl⁻, což úzce souvisí s vyšší koncentrací Cl a elektrickou vodivostí, kterou pozorovali. Ve studovaném ekosystému vystupují ionty Cl s půdní vodou na povrch, voda se odpařuje a sůl zůstává na povrchu půdy. Vývoj a sukcese biologických půdních krust má zásadní význam v procesu tvorby půdy a ve vývoji kvality půdy v pouštních ekosystémech; tyto krusty lze tedy využít jako indikátory pro charakterizaci změn kvality půdy v pouštních ekosystémech (Liu et al. 2019). Biologická solná krusta podporuje obnovu pouštních ekosystémů, zvyšuje stabilitu půdy, snižuje erozi, usnadňuje fixaci uhlíku a dusíku, ovlivňuje koloběh živin a prostorovou strukturu vegetace (Chamizo et al. 2012), ale vysoká koncentrace chlóru paradoxně způsobuje nadměrně vysoký obsah solí v půdě, čímž ovlivňují normální příjem vody a živin kořenovým systémem (Vodyanitskii et al. 2017). Lze tedy soudit, že přítomnost organických solných krust je ambivalentní povahy, kdy na jedné straně budoucí vegetaci ovlivní pozitivně tím, že zkvalitní půdu, ve které bude růst, na stranu druhou její výskyt znamená zhoršené životní podmínky, se kterými se musí současně rostoucí vegetace vypořádat.

Statistics of several chemical elements with higher concentrations inside the PPP than outside (mean ± SD). The * symbol indicates significant (P < 0.05) differences between the chemical element concentrations of the soil collected inside and outside the PPP.

Element	Ca	Cl	Fe	K	Nd	P	S	Ti	V
Inside	167459±1828*	10077±136*	17848±599	6295±130	1168 ± 324	17±45	19562±260*	2308±577	2053±379
Outside	53426±575*	5965±205*	16705±645	9284±132	903 ± 285	109±41	4830±97*	2128±576	2142±377

Obrázek 7: Chemické složení půdy vně a mimo FVE (Luo et al. 2023)

Vliv FVE na přístup k živinám

Vervloesem et al. (2022) ve své práci indikovali, že dostupnost živin se od kraje areálu FVE směrem dovnitř snižuje, přičemž nejnižší hodnoty se vyskytují přímo pod panely. Není zcela jasné, proč jsou rozdíly tak velké; neexistuje žádná literatura, která by se zabývala vlivem umělého zastínění na dostupnost živin nebo úrodnost půdy. Některá možná vysvětlení by mohla být částečná inverze půdy během instalace solárního parku kvůli vysokému tlaku na údržbu nebo že velká část půdy v parku je holá, ale půda mezi řadami je více vystavena slunci a dešti, což by mohlo vést k většímu vyplavování živin. Ačkoli není jisté, proč je tento rozdíl v dostupnosti živin tak výrazný, může vysvětlovat gradient „reakce nebo kyselosti“, který objevili Chen et al. (2015) tím, že zjistili, že existuje provázaný vztah mezi dostupností dusíku a okyselením půdy. Čím více dusíku je v půdě k dispozici, tím nižší je pH půdy. Lze tedy předpokládat, že přítomnost fotovoltaických elektráren má přímo vliv na režim a přístupnost živin v půdě, v tomto momentu však nelze zodpovědět, zda jsou tyto atributy pro vegetaci negativní či pozitivní.

4.4 Vliv FVE na vodu a vodní režim

Na vztah mezi fotovoltaickými elektrárnami a využíváním a kvalitou vody lze pohlížet různými úhly pohledu. Provoz fotovoltaických areálů je spojen s odběrem vody, kdy velké množství vody použité k čištění fotovoltaických zařízení nevrací zpět do zdroje (Hernandez, 2014). Dále používání chemických látek při mytí panelů vede k pronikání kontaminovaných vod do půdy a později do freatické vrstvy a do blízkých řek. V důsledku toho je blízkost vodních zdrojů důležitým ukazatelem, protože indikuje možnost kontaminace hydrologického systému náhodnými úniky použitých chemických látek (Vrínceanu, 2019).

Kvalita vody a jejích zdrojů jsou důležité pro zachování zdravých ekosystémů a následně i vegetace v těchto ekosystémech (Carr, 2008). Účinné hospodaření s vodou hraje zásadní roli při zmírňování dopadů znečištění vodních zdrojů, především prostřednictvím plánovaného čištění. V suchých a polosuchých oblastech, kde mohou být vodní zdroje vzácné, je optimalizace využití vody pro čištění fotovoltaických panelů zásadní. To zahrnuje používání technik čištění šetřících vodu, jako jsou automatické čisticí systémy, které používají minimální množství vody, nebo metody suchého čištění, které vodu vůbec nevyžadují (Gonzalo et al. 2020).

Vervloesem et al. (2022) kteří porovnávali areál fotovoltaické elektrárny vůči pšeničnému poli, bylo zjištěno, že relativní vlhkost vzduchu je obecně vyšší mezi řadami fotovoltaických panelů než pod panely nebo mimo tyto oblasti a to v 75 % měření. Což potvrzují i Baldocchi et al. (2004) a Paço et al. (2009), kteří uvádějí, že evapotranspirace pšeničného pole je ve srovnání s klimaxovým porostem výrazně nižší. To by podporovalo skutečnost, že vyšší vlhkost mezi panely může zvyšovat rozmanitost vegetace na těchto místech. Tento stav potvrzuje i fakt, že ve studii Vervloesem et al. (2022) byla vyšší biodiverzita naměřena právě v místech mezi řadami panelů.

4.5 Vliv FVE na světelný režim

Vervloesem et al. (2022) při své studii zjistili, že dostupnost světla pro vegetaci je pod panely nižší než v řádcích mezi panely, tento výsledek byl zjištěn díky měření fotosynteticky aktivního záření (PAR, photosynthetically active radiation), jehož gradient se pod panely od krajů ke středu zřetelně snižoval, což indikuje výrazné zastínění právě v jejich středu. K podobným výsledkům došel Armstrong et al. (2016), kteří při své práci naměřili pod panely pokles PAR až o 85 %. Tato skutečnost by mohla vést k nižší fotosyntetické aktivitě pod panely, ale paradoxně zvýšit a podpořit biodiverzitu rostlinných společenstev tím, že by zvýhodnila stínomilné neboli sciafytické druhy. Výsledky této studie však ukázaly, že biodiverzita vegetace se snižovala právě přímo pod panely, oproti měřením mezi řadami a v krajových pozicích fotovoltaické elektrárny. To by naznačovalo, že změna světelného režimu pod panely může mít negativní vliv na rozmanitost vegetace. Tento jev je pravděpodobně způsoben kombinací více faktorů, nejen tedy změnou světelného režimu, ale také změnou vlhkostních podmínek, přístupu k živinám nebo také činností údržby areálu.

4.6 Vliv FVE na opylovače s přihlédnutím na polarizované světelné znečištění

Horvath et. al. (2009) ve své práci uvádí, že fotovoltaické instalace jsou možným potenciálním zdrojem polarizovaného světelného znečištění, a to zejména v kombinaci s dalšími reflexními povrchy, kterými mohou být například asfaltové silnice. Autor vyjadřuje obavu, která naznačuje, že polarizované světelné záření vyvolané fotovoltaikou může mít ekologické dopady, a to zejména na druhy, které jsou na tento typ polarizovaného záření citlivé. Dostupné studie se však zaměřují zejména na vliv polarizovaného světelného znečištění na zvířecí druhy,

kteře mají evolučně spojené světlo s aktivním chováním, jako je například orientace v prostředí, nikoliv na rostliny, kterým slouží světlo zejména jako zdroj energie.

Ovlivnění vegetace ovšem nemusí být primárně skrze vliv polarizováno světla na rostliny, ale sekundárně skrze vliv na opylovače. Karl von Frisch, nositel Nobelovy ceny, byl jedním z prvních, kdo zdokumentoval využití polarizačních vzorů hmyzem k navigaci. Poté, co von Frisch aklimatizoval včelstvo na krmení na určitém místě, pokusil se včely dezorientovat přemístěním včelstva na místo nové. K jeho údivu přesto pozoroval, že se včely neustále vracely na známé místo krmení. Po zdokumentování svých pozorování a prozkoumání struktury oka včely medonosné dospěl von Frisch k závěru, že včely medonosné používají k orientaci a navigaci polarizační vzory na obloze. Toto zjištění by mohlo znamenat, že polarizované světlo z fotovoltaických panelů může ovlivnit chování opylovačů (Frisch, 1993).

Blaydes et al. (2021) uvádí, že nedávné výzkumy odhalily, že přítomnost FVE může znamenat zvýšení biodiverzity opylovačů. To potvrzuje i výzkum Biesmeijera et al. (2020), tento výzkum ukázal, že solární parky mohou být skutečně vhodným prostředím pro opylovače. Během terénního průzkumu našli více druhů včel, než se běžně vyskytuje v zemědělských nebo průmyslových oblastech, a také velké množství druhů vznášivek. Solární park je dokonce vhodným stanovištěm pro pět ohrožených druhů včel, a to *Hoplitis tridentata*, *Lasioglossum brevicorne*, *Osmia aurulenta*, *Osmia caerulescens* a *Panurgus banksianus*. Důležité jsou však vegetační podmínky a přítomnost osluněných míst. Od jara po celé pozdní léto musí být k dispozici atraktivní kvetoucí rostliny, aby poskytovaly potravu a hnízdní příležitosti návštěvníkům květeny. Ve studované lokalitě to lze vytvořit extenzivní údržbou s pravidelným kosením. Kromě toho je třeba zajistit osluněná místa, aby bylo zajištěno uchycení a kvetení velkého množství různých druhů rostlin a vhodné podmínky pro létání opylovačů.

S podobným výsledkem přišli Graham et al. (2021), kdy uvádí, že opylující hmyz navštěvoval květiny bez ohledu na přítomnost solárních panelů, ale že zastínění solárními panely měnilo množství a načasování vykvetení květů, které opylovači navštěvovali, a to ovlivňovalo početnost, bohatost a rozmanitost společenstev opylovačů. Osázení areálů FVE rostlinami produkujícími pyl a nektar vytváří stanoviště přátelské pro opylovače. V areálech fotovoltaických elektráren by se mělo nacházet více druhů rostlin, které jsou tolerantní k zastínění nebo prospívají na plném slunci, aby se maximalizovalo rozdělení nik, které je vlastní hmyzím opylovačům. Nevyužívané nebo nedostatečně využívané pozemky pod

solárními panely představují příležitost, jak rozšířit současný nedostatek a očekávaný úbytek stanovišť opylovačů. V blízkosti zemědělských pozemků má tato možnost rovněž přínos pro okolní zemědělskou komunitu. Vývojáři solárních systémů, tvůrci politiky, zemědělské komunity a zastánci ochrany přírody a tím i zdraví opylovačů, kteří chtějí maximalizovat efektivitu využití půdy, biologickou rozmanitost a opylovací služby, mohou považovat stanoviště opylovačů na fotovoltaických lokalitách za životaschopnou cestu, přičemž je třeba v každém jednotlivém případě posoudit specifické aspekty, jako je místní klima a současné využití půdy.

4.7 Vliv FVE na teplotu

Vliv na teplotu povrchu

Vervleosem et al. (2022) při své studii měřili povrchovou teplotu půdy (T_{surf}) pod panely. Výsledkem bylo, že panely, které jsou dostatečně vysoko nad povrchem, mají chladicí efekt, jenž je nejvyšší právě ve středu panelů. Povrchová teplota půdy (T_{surf}) je tedy výrazně vyšší v prostorech mezi panely a v krajích areálu. Toto zjištění částečně potvrzuje i studie z roku Armstronga et al. (2016), která potvrzuje, že v prostorech mezi panely je vyšší teplota až o 5,2 °C v letním období, naopak je tomu ovšem v zimě, kdy byla mezi panely zjištěna teplota průměrně o 1,7 °C nižší než pod panely. Důvod, proč je teplota pod panely nižší, lze přičíst zachycení krátkovlnného záření fotovoltaickými panely (Weinstock, 2009). Dalším možným vysvětlením, které bylo zvažováno, je změna albeda, kdy existují dvě proměnné, které lze přičíst právě změně albeda, a to nejprve oteplovací účinek v důsledku nižšího albeda (solárního panelu) a protichůdný ochlazovací účinek v důsledku přeměny tepla na energii (Armstrong, 2016).

Vliv na teplotu vzduchu

Armstrong et al. (2016) uvádí, že denní kolísání teploty vzduchu v rámci diurnálního cyklu je pod fotovoltaickými panely nižší; denní minimální a maximální teploty od jara do podzimu jsou výrazně teplejší (až o 2,4 °C), respektive chladnější (až o 6,0 °C) ve srovnání s prostorem mezi panely. Od dubna do září byl vzduch pod fotovoltaickými panely trvale chladnější ve dne a teplejší v noci. Tyto protichůdné trendy ovšem v celkové průměrné denní teplotě vzduchu

nevedou k výraznému rozdílu v jejich hodnotách. Ačkoli se denní průměry teploty vzduchu mezi jednotlivými ošetřeními nelišily, pod fotovoltaickými panely se v létě denní kolísání teploty zmírnilo, což lze přičíst nižším příjmům záření během dne a sníženému výhledu z oblohy, který minimalizuje ztráty dlouhovlnného záření v noci. Dále může být pod fotovoltaickými panely potlačena tvorba rosy, a proto mohou být teploty vyšší ve srovnání s kontrolními oblastmi a oblastmi s mezerami (odpařování rosy může snížit teplotu) (Marrou et al. 2013). Naopak Vervloesem et al. (2022) ve své studii uvádí, že nebyl odhalen téměř žádný rozdíl mezi teplotami vzduchu pod panely, mezi panely a mimo tyto oblasti. Není tedy zcela jasné, zda je fenomén změny teploty globální nebo zda záleží na určité lokální situaci, nelze tedy s jistotou tvrdit, že solární panely mění teplotu natolik, aby to znamenalo rozdíly příliš drastické pro přežití vegetace.

4.8 Vliv rozdílných konstrukčních typů na vegetaci

Podle Marroua et al. (2013) a Uldrjana et al. (2021) jsou rostliny vystaveny stínění stacionárními fotovoltaickými panely, což má za následek vytvoření s omezeným přístupem ke světelnému záření pod panely. Vzhledem k tomu, že základem konstrukce FVE je zachycení slunečního záření fotovoltaickými články, je absence přímého slunečního záření pod stacionárními PV panely nevyhnutelná. V takových instalacích budou mít rostliny na zemi k dispozici pouze nepřímé světlo z okrajů. Schindler soudí, že by to mohlo být potenciálně výhodné v suchých oblastech, protože určité zastínění bude rostlinám prospívat v době největšího slunečního svitu a poskytne příznivé podmínky pro rostliny tolerující stín (2018).

Stacionární fotovoltaické panely navíc vytvářejí trvalý srážkový stín. Rostliny jsou tedy závislé na podzemní vodě nebo vodě z okolí; některé vytrvalé byliny však tyto podmínky snášejí. Výsledky ukazují, že stacionární fotovoltaické panely vytvářejí příznivé podmínky pro výskyt vytrvalých bylin a jednoletých trav. Jedná se převážně o druhy odolné vůči suchu a zastínění například *Cichorium intybus*, *Convolvulus arvensis*, *Picris hieracioides*, *Plantago lanceolata*, *Plantago media*, *Taraxacum sect. Taraxacum*. Oproti těmto výsledkům Nagengast (2013) uvádí, že pokud jde o stavbu stacionárních fotovoltaických panelů, nedochází k žádným zásadním změnám souvisejícím s osluněním nebo zásobováním dešťovou vodou, což umožňuje, aby podmínky pro rozvoj vegetace zůstaly po celý rok stálé a vytvářely relativně stabilní prostředí. Zásadní teoretický rozdíl ve svém vlivu na vegetaci mají rotační panely, které

díky svému proměnlivému úhlu a výšce nad zemí v průběhu roku vytvářejí kolísavé podmínky oslunění a zavlažování. Tato proměnlivost podporuje odlišnou strukturu vegetace, která upřednostňuje růst jetelovin a jednoletých bylin, které jsou obvykle kratší a rostou pomaleji (Vaverková et al. 2022).

Dle výsledků Vaverkové et al. (2022), kde byla porovnáována hodnota IB ($IB = c \times hm$, kde c (%) je pokryvnost rostlinných druhů a hm (m) je maximální výška), byly výsledky u jednotlivých typů fotovoltaických panelů podobné, pouze o 3 % vyšší u stacionárních fotovoltaických panelů než u rotujících fotovoltaických panelů. Významné rozdíly byly pozorovány v hodnotách IB pro varianty managementem vegetace (pastva, sečení). Varianta pastvy měla hodnoty IB přibližně o 30 % nižší než varianta sečení. Detailnější rozdíly si můžeme prohlédnout na obrázku 8.

Average values for Index of biomass (IB) (%/m) according to monitored parameters.

Group of plant species	Types of PV panels		Vegetation management		Position of relevés	
	Rotating	Stationary	Mowing	Grazing	Under panels	Between panels
Perennial grasses	21.57	21.48	36.25	6.80	22.78	20.27
Annual grasses	1.80	4.93	4.44	2.30	4.27	2.47
Clovers (legumes)	3.14	2.20	2.05	3.30	2.13	3.22
Other herbs— perennial	10.60	13.07	15.09	8.58	7.10	16.56
Other herbs— annual	2.56	1.03	0.57	3.01	1.39	2.19
Sum	39.68	42.71	58.40	23.98	37.67	44.71
Standard deviation (σ)	21.05	24.09	19.13	8.35	20.02	24.89

Obrázek 8: Hodnoty IB dle konstrukce FV panelů a způsobu managementu vegetace (Vaverová et al. 2022)

4.9 Celkový vliv na vegetaci

Dle Vervleoesem et al. (2022) studie je celková diverzita vegetace nižší přímo pod panely sestupně k jejich středu. Naopak mezi řadami panelů a mimo tyto oblasti byla diverzita vegetace naměřena vyšší. Téměř všechny zkoumané druhy byly původní, přizpůsobené místnímu klimatu a také přizpůsobené dané lokalitě. Tím, že byly zastíněny fotovoltaickým panely, nebyly schopny pojmout tolik fotosynteticky aktivního záření ze slunce a tím u nich probíhala fotosyntéza v menší míře, důsledkem toho byl tedy i jejich snížený růst. Nabízí se též vysvětlení, že pod panely se z důvodu prevence před poškozením hospodaří intenzivněji a management vegetace je tedy pro ni ničivější. Toto potvrzuje i Armstrong et al. (2016), kteří udávají, že při měření bylo zjištěno, že v prostorech mezi panely bylo čtyřikrát více celkové nadzemní biomasy rostlin, ve srovnání s měřeními pod panely. Celková biodiverzita vegetace byla pod panely výrazně nižší. V plochách s mezerami rostly převážně byliny a luskoviny.

Na obrázku 9 níže můžeme pozorovat rozdíly ve složení a produktivitě rostlinných společenstev na plochách pod kontrolou, pod panely v místech s mezerami: procento pokryvnosti rostlinných druhů a holé půdy, počet druhů, poměr netravních porostů k travním porostům a biomasa nadzemních rostlin. Rozdílná písmena označují významný rozdíl v počtu druhů, poměru netravních druhů k trávě.

	Species	Control	Gap	Under
Forbs	<i>Leucanthemum vulgare</i>	0.8 ± 1.5	2.0 ± 2.4	0.0 ± 0.0
	<i>Plantago lanceolata</i>	7.5 ± 8.7	1.3 ± 2.5	0.0 ± 0.0
	<i>Achillea millefolium</i>	10.0 ± 8.2	18 ± 35.0	20.0 ± 26.0
	<i>Ranunculus acris</i>	0.8 ± 1.5	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
Legumes	<i>Trifolium repens</i>	24.0 ± 10.0	9.8 ± 4.1	0.0 ± 0.0
	<i>Lotus corniculatus</i>	1.3 ± 2.5	10.0 ± 17.0	0.0 ± 0.0
	<i>Onobrychis viciifolia</i>	1.0 ± 2.0	0.8 ± 1.5	0.0 ± 0.0
Grasses	<i>Phleum pratense</i>	6.3 ± 7.5	21.0 ± 27.0	15.0 ± 7.1
	<i>Poa spp. (pratensis or annua)</i>	24.0 ± 11.0	20.0 ± 15.0	41.0 ± 26.0
	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	8.8 ± 12.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	<i>Festuca rubra</i>	3.8 ± 4.8	1.3 ± 2.5	3.8 ± 7.5
Other	Dead/bare	13.0 ± 2.9	16.0 ± 7.5	20.0 ± 10.0
	Number of species	4.8 ± 1.0 ^{ab}	5.8 ± 2.2 ^a	2.8 ± 0.5 ^b
	Non-grass:grass	1.5 ± 0.5 ^a	1.6 ± 0.9 ^{ab}	0.3 ± 0.3 ^b
	Biomass	511.1 ± 102.8 ^a	599.5 ± 143.1 ^a	131.6 ± 46.5 ^b

Obrázek 9: Pokryvnost, zastoupení a hodnota biomasy vegetace v měřené oblasti

(Armstrong et al. 2016)

Uldrijan et al. (2021) udávají, že místa s fotovoltaickými elektrárnami vytvářejí podmínky pro druhově bohatá rostlinná společenstva. Přítomnost fotovoltaických panelů mění druhové složení vegetace, kdy druhové složení vegetace vytváří předpoklady pro řadu vztahů a interakcí s okolními ekosystémy. Výsledky dvouleté studie ukazují, že druhové složení je pod a mezi panely rozdílné. Z toho lze usuzovat, že v závislosti na místě se rostlinným druhům daří lépe či hůře, proto je třeba prozkoumat místní druhy pro výsadbu a zdroje semen, aby se usnadnila obnova vegetace. Pod fotovoltaickými panely se snížila pokryvnost vysokých a středně vysokých trav, které byly nahrazeny vytrvalými bylinami nebo invazními druhy trav.

Během dvou let bylo objeveno 46 druhů rostlin rostoucích v areálu FVE. Na základě výsledků analýzy CCA (kanonická korespondenční analýza) je zřejmé, že vegetace měla

druhově odlišné složení na stanovištích pod fotovoltaickými panely a na stanovištích mezi fotovoltaickými panely.

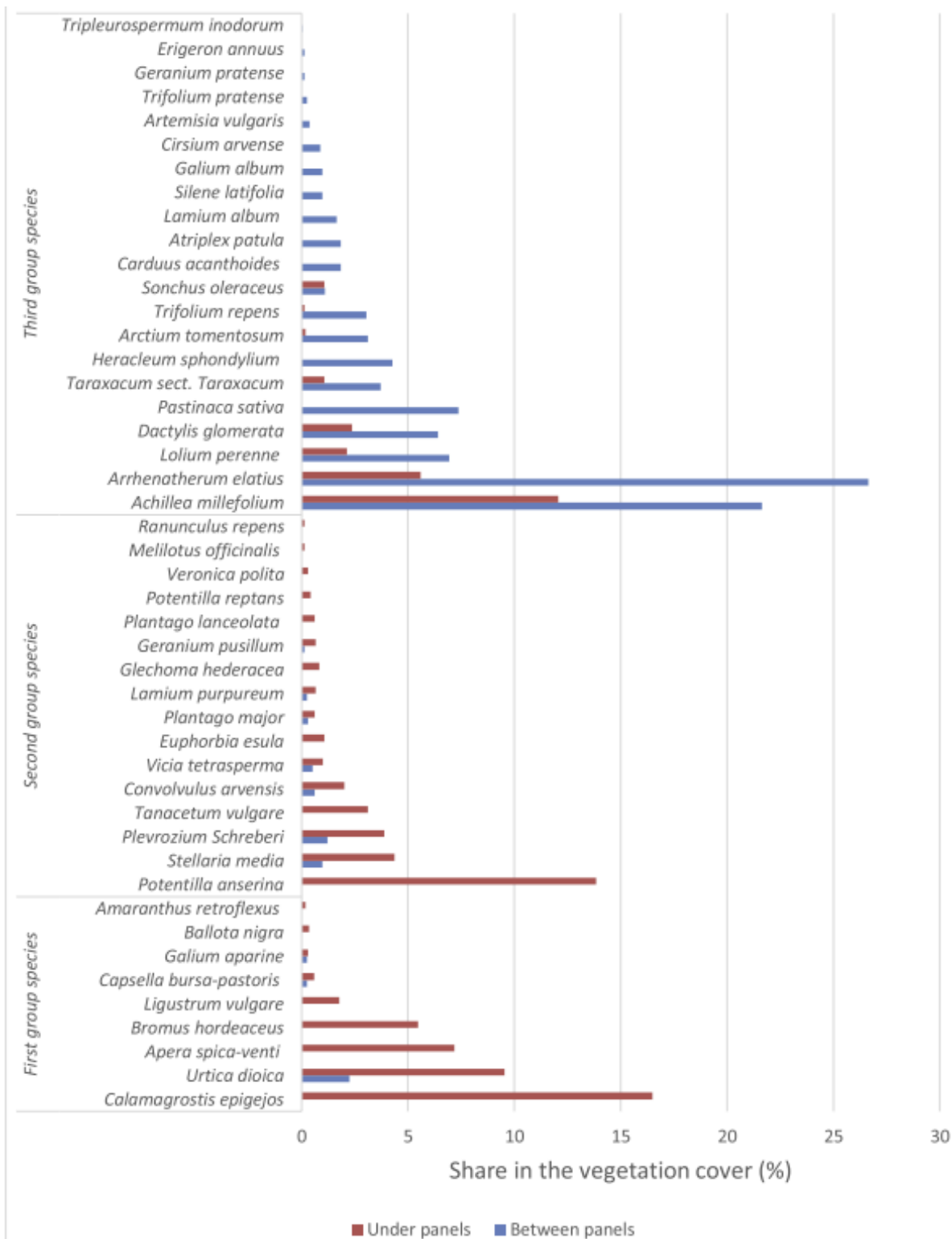
První skupiny druhů vyskytujících se pod FV panely tvořily dvě podskupiny, a to:

První podskupinu tvoří druhy: *Amaranthus retroflexus*, *Apera spica-venti*, *Ballota nigra*, *Bromus hordeaceus*, *Calamagrostis epigejos*, *Capsella bursa-pastoris*, *Galium aparine*, *Ligustrum vulgare* a *Urtica dioica*.

Druhou podskupinu tvoří: *Convolvulus arvensis*, *Euphorbia esula*, *Geranium pusillum*, *Glechoma hederacea*, *Lamium purpureum*, *Melilotus officinalis*, *Plantago lanceolata*, *Plantago major*, *Pleurozium schreberi*, *Potentilla anserina*, *Potentilla reptans*, *Ranunculus repens*, *Stellaria media*, *Tanacetum vulgare*, *Veronica polita* a *Vicia tetrasperma*.

Podle analýzy CCA tvoří skupinu druhů mezi FV panely následující druhy: *Achillea millefolium*, *Arctium tomentosum*, *Arrhenatherum elatius*, *Artemisia vulgaris*, *Atriplex patula*, *Carduus acanthoides*, *Cirsium arvense*, *Dactylis glomerata*, *Erigeron annuus*, *Galium album*, *Geranium pratense*, *Heracleum sphondylium*, *Lamium album*, *Lolium perenne*, *Pastinaca sativa*, *Silene latifolia*, *Sonchus oleraceus*, *Taraxacum sect. Taraxacum*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens* a *Tripleurospermum inodorum*.

Pokryvnost jednotlivých druhů můžeme pozorovat na následujícím obrázku 10.



Obrázek 10: Pokryvnost jednotlivých druhů dle skupin a stanoviště (Uldrian, et al. 2021)

4.10 Riziko vzniku požáru

Jako dalším a pro vegetaci destruktivní faktor můžeme označit oheň, tedy riziko vzniku požáru, které je v některých areálech, zejména těch, které se nachází v suchých oblastech, značné.

Na lokalitách fotovoltaických elektráren se zanedbaným managementem vegetace se vyskytuje synantropní vegetace, která může zvyšovat nebezpečí požáru v lokalitách komplexů fotovoltaických elektráren (Vaverková, et al. 2022). Hardy (2005) tvrdí, že hodnocení požárního nebezpečí je založeno na fyzikálních vlastnostech paliva, v tomto případě považujeme jako palivo rostoucí vegetaci. Vlastnosti, které hodnotíme mohou být uspořádání vegetace, její zatížení, výška a celkový stav. Zde je nutné podotknout, že v těchto oblastech se vyskytují travní druhy, jejichž výhřevnost je vyšší než $17\ 000\ \text{MJ.kg}^{-1}$ (to je hodnota, která dosahuje téměř výhřevnosti uhlí, které má svoji hodnotu $20\ 000\text{--}30\ 000\ \text{MJ.kg}^{-1}$), což podporuje možnosti rychlého vzniku a šíření požáru. Management požární ochrany v příslušných komplexech fotovoltaických elektráren je tedy vždy nutné přizpůsobit způsobu péče o místní vegetaci.

Důkazy naznačují, že ačkoliv případy požárů v komplexech fotovoltaických elektráren nejsou příliš časté, jsou možné (Falvo; Capparella, 2015). A to zejména kvůli chybné elektroinstalaci panelů, nevhodnému vedení kabelů, špatnému zastínění náchylných elektrických součástek, což může vést k selhání a následnému vzniku požáru. (Fiorentini, 2016). Požár může také vzniknout působením fauny. Zvířata, která instalované panely poškodí, mohou sekundárně způsobit svým zaviněním požár. Z těchto informací vyplývá, že požáry vznikají zejména od panelů, které následně mohou zapálit místní vegetaci, která následně zapálí další panely (Aram, et al. 2021).

Dle studie provedené Vaverkovou et al. (2022), kteří monitorovali výskyt rostlinných druhů, zejména pokrytí produkční biomasou a frekvenci výskytu, na vybrané lokalitě v České republice, nedaleko Moravského Krumlova. Cílem studie bylo poukázat na požární nebezpečí v návaznosti na akumulaci rostlinné biomasy, při použití rotačních a stacionárních konstrukcí fotovoltaických panelů a managementem místní vegetace. Vegetace byla obhospodařována dvěma způsoby, a to pastvou a kosením. Předmětná fotovoltaická elektrárna používá automatické otočné stojany s polární osou sledující polohu slunce, pro zvýšení výkonu byly užity oboustranné bifaciální panely.

Data pro výzkum byla sbírána v průběhu let 2013, 2014 a 2015, během července, srpna a září. Během těchto tří let bylo zjištěno 83 rostlinných druhů, vegetace byla zaznamenávána mezi a pod panely. Z výsledků měření byla vytvořena tabulka hodnot IB (obrázek číslo 8), dle které bylo zjištěno, že nejvyšší nárůst hodnoty IB, jež přímo koreluje s rizikem vzniku požáru, bylo naměřeno u trvalých travin. U rotačních i stacionárních panelů, které byly obhospodařovány sečením, tyto hodnoty byl vyšší téměř o 30 %. Z výsledných dat tedy vyplývá, že z pohledu požární ochrany nejlépe vychází kombinace rotačních panelů a obhospodařování vegetace spásáním, a to bez ohledu na to, zda se vegetace nachází pod nebo mezi panely.

Vaverová et al. (2022) soudí, že ačkoliv jsou výsledky vědeckých studií rozporuplné, vzhledem ke zrychlující se změně klimatu lze považovat lokality fotovoltaických elektráren za oblasti se zvýšeným nebezpečím vzniku požárů, a to zejména pokud nebude k eliminaci tohoto rizika použito správného managementu vegetace.

Množství požárů na fotovoltaických elektrárnách není možné dostatečně vystopovat zejména z důvodu, že hasičské sbory nerozdělují požár na FVE od ostatních požárů a tím pádem není možné zjistit jejich přesné množství. Dle Silvia (2020) byl v USA byl zaznamenán nárůst počtu požárů solárních systémů – v roce 2018 bylo zaznamenáno 56 požárů solárních systémů, což je o 36 % více než v roce 2017, kdy jich bylo zaznamenáno 41.

Doporučení pro udržování vegetace a udržitelnosti FVE

Dle Uldrijana et al. (2021) lze vyvodit některá doporučení pro management vegetace areálů fotovoltaických elektráren. Tato studie zohledňuje význam ekologických účinků FVE a naznačuje, že při vhodném managementu mohou tyto lokality podporovat výrobu obnovitelné energie a zároveň pozitivně přispívat k místní biologické rozmanitosti a fungování místního ekosystému.

Jako prevence proti erozi jsou z hlediska FVE vhodné nízko rostoucí druhy rostlin, které nejsou využívány v zemědělství, které mají omezené šíření semen a jedná se o původní entomofilní druh a které produkují malé množství alergenního pylu

Správná údržba a management jsou nutné prvky správného fungování a symbiózy ekosystému a FVE, kdy zejména pravidelné obhospodařování vegetace kosením je nutné pro odstranění nežádoucích druhů rostlin. V některých extrémních případech je nutné použít chemická regulační opatření. Správný management vegetace může vést ke zvýšení stability

a rozmanitosti ekosystému, který má možnost v areálech FVE podporovat původní druhy rostlin a může navzdory lidskému faktoru poskytnout prostor a stabilizaci pro přirozený ekosystém

Vhodné druhy pro udržování v areálech FVE jsou pro plochy mezi fotovoltaickými panely se doporučují vytrvalé trávy (např. *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*) a vytrvalé byliny (např. *Pastinaca sativa*, *Trifolium repens*, *Silene latifolia*, *Galium album*). Pod panely se doporučují zejména vytrvalé byliny jako *Achillea millefolium*, *Potentilla anserina* a *Plantago major*.

Vhodná opatření vyplývající z výzkumu Vaverkové et al. (2022) jsou taková, že pro ochranu před požáry areálu fotovoltaických elektráren s návazností na místní vegetaci je třeba vhodně vyřešit management vegetace, a to zejména kosením, pastvou nebo jinou metodou odstranění vegetace, a to zejména z důvodu, že hlavní nebezpečí pro vznik požáru představuje nashromážděná biomasa. Taktéž je vhodné provádět pravidelný monitoring předpovědí budoucích srážek, kdy jejich nízký úhrn, zejména v druhé polovině léta a na podzim, může vést ke zvýšenému nebezpečí požárů.

Opylovači se vyskytují spíše na slunci než ve stínu, proto je důležité ponechat mezi solárními panely dostatečný prostor, aby sluneční paprsky dopadaly na zem po celý den. Doporučeným prostorem mezi panely jsou tři až čtyři metry, což je považováno za dostatečné pro rozvoj vegetace, a tedy i opylovačů (Biesmeijer et. al, 2020).

Luo et al. (2023) soudí, že posílení prospěšných efektů a omezení těch negativních, zejména v suchých oblastech zlepší vyhlídky na prospěšnost FVE, což bude mít pozitivní dopad na plánování, udržitelnost, politiky a strategie řízení rozsáhlých fotovoltaických systémů a schopnost zajistit výrobu čisté energie.

5 Výzkum ČZU na vegetaci ve velkých FVE

V rámci České zemědělské univerzity v současnosti probíhá druhým rokem výzkum, který je zaměřený právě na vegetaci rostoucí v areálech velkých fotovoltaických elektráren na území České republiky, kterého jsem se částečně zúčastnil. V této kapitole jsou odprezentována pilotní data naměřená v areálech tří níže popsaných FVE.

5.1 Vybrané lokality FVE

FVE Ralsko

Skupina fotovoltaických elektráren, souhrnně označovaných jako FVE Ralsko a vzdálených od sebe jednotky kilometrů, ležící na území Libereckého kraje mezi Mimoní a Mnichovým Hradištěm, zhruba 25 km jihovýchodně od České Lípy. V rámci této oblasti se s ohledem na přírodní podmínky jedná o jednu z nejvhodnějších lokalit k umístění zařízení pro výrobu elektřiny ze slunečního záření. Průměrný roční úhrn globálního záření zde dosahuje až 3,8 tisíce MJ/m². Využití ploch se navíc jeví optimální i proto, že jde o území bývalého vojenského areálu, které by velice těžko hledalo alternativní využití. Dekontaminací souvislých ploch využitých v současnosti pro fotovoltaické elektrárny a zvýšením jejich bonity se navíc do budoucna otevírají širší možnosti pro rozvoj celé oblasti. Fotovoltaické elektrárny, vzdálené od sebe jednotky kilometrů, disponují instalovanými výkony 14,269 MW, 12,869 MW, 6,614 MW, 4,517 MW a 17,494 MW. Elektrárny ročně vyrobí množství elektřiny pokrývající spotřebu zhruba 15 000 domácností na pomezí středních a severních Čech (ČEZ a.s., 2024).



Obrázek 11: Fotovoltaická elektrárna Ralsko (autor fotografie RNDr. Milan Skalický Ph.D., 2023)

FVE Žabčice

Žabčice leží mezi Židlochovicemi a Hrušovany u Brna. V rámci České republiky jde o oblast s nejlepšími podmínkami pro výrobu elektřiny ze slunečního záření. Průměrný roční úhrn globálního záření zde přesahuje 4 tisíce MJ/m², nejvyšší je zde také počet slunečných dnů. Elektrárna o instalovaném výkonu 5,6 MW ročně vyrobí množství elektřiny, pokrývající spotřebu zhruba 1 500 domácností na jihu Moravy (ČEZ a.s., 2024).



Obrázek 12: *Fotovoltaická elektrárna Žabčice*

(autor fotografie RNDr. Milan Skalický Ph.D., 2023)

FVE Ševětín

Fotovoltaická elektrárna Ševětín leží v katastru obcí Ševětín a Drahotěšice na území Jihočeského kraje zhruba 15 km severovýchodně od Českých Budějovic. V rámci této oblasti se s ohledem na přírodní podmínky jedná o jednu z nejvhodnějších lokalit k umístění zařízení pro výrobu elektřiny ze slunečního záření. Průměrný roční úhrn globálního záření zde dosahuje až 3,8 tisíce MJ/m². Elektrárna o instalovaném výkonu 29,9 MW ročně vyrobí množství elektřiny pokrývající spotřebu zhruba 8 000 domácností na jihu Čech (ČEZ a.s., 2024).



Obrázek 13: *Fotovoltaická elektrárna Ševětín*
(autor fotografie RNDr. Milan Skalický Ph.D., 2023)

5.2 Charakteristika sledovaných oblastí FVE

Sledované lokality FVE obecně z vegetačního hlediska s jednoznačnými znaky antropogenně sukcesní až lokálně ruderální vegetace na TTP, až na výjimky udržované a sečené trvalé travní porosty (TTP). Rostliny TTP se vyznačují nestejnou adaptabilitou v tomto zvláštním prostředí – různé substráty, přemokření, expozice, tj. v podstatě různou schopností růstu, vývoje, reprodukce a šíření. Pouze některé druhové taxony v těchto mnohdy až extrémních podmínkách rostou velmi dobře a intenzivně se rozmnožují, přitom jim často chybí konkurence, což napomáhá jejich šíření. Jednoleté výsledky botanického průzkumu ukazují na málo pestrou skladbu biotopů s dominantními udržovanými a sečenými plochami TTP (převaha expanzivních druhů dle vegetační stupňovitosti). Bylinná etáž je tvořena běžnými bylinami, včetně druhů rumištních a plevelných.

5.3 Metodika

Použity byly standardní metody botanického výzkumu. Pokud jde o floristické složení (zde vzhledem k účelu výzkumu velmi zásadní) jedná se, až na ojedinělé výjimky, o druhové taxony všeobecně známé a dobře určitelné. V rámci možností byla vegetace konkrétních ploch charakterizována typem převládajících taxonů, ve fragmentárních keřových porostech pak dominantními druhy z náletů.

Determinace cévnatých rostlin byla provedena na základě observace v terénu morfologicko-srovnávací metodou. Vegetační monitoring zahrnul zejména vegetaci dotčené lokality s přihlédnutím k okolním polo-přirozeným porostům a s ohledem na průběh vegetačního období. Determinace taxonů na základě diakritických znaků vč. determinace pod stereomikroskopem, vše s podporou literární zdrojů.

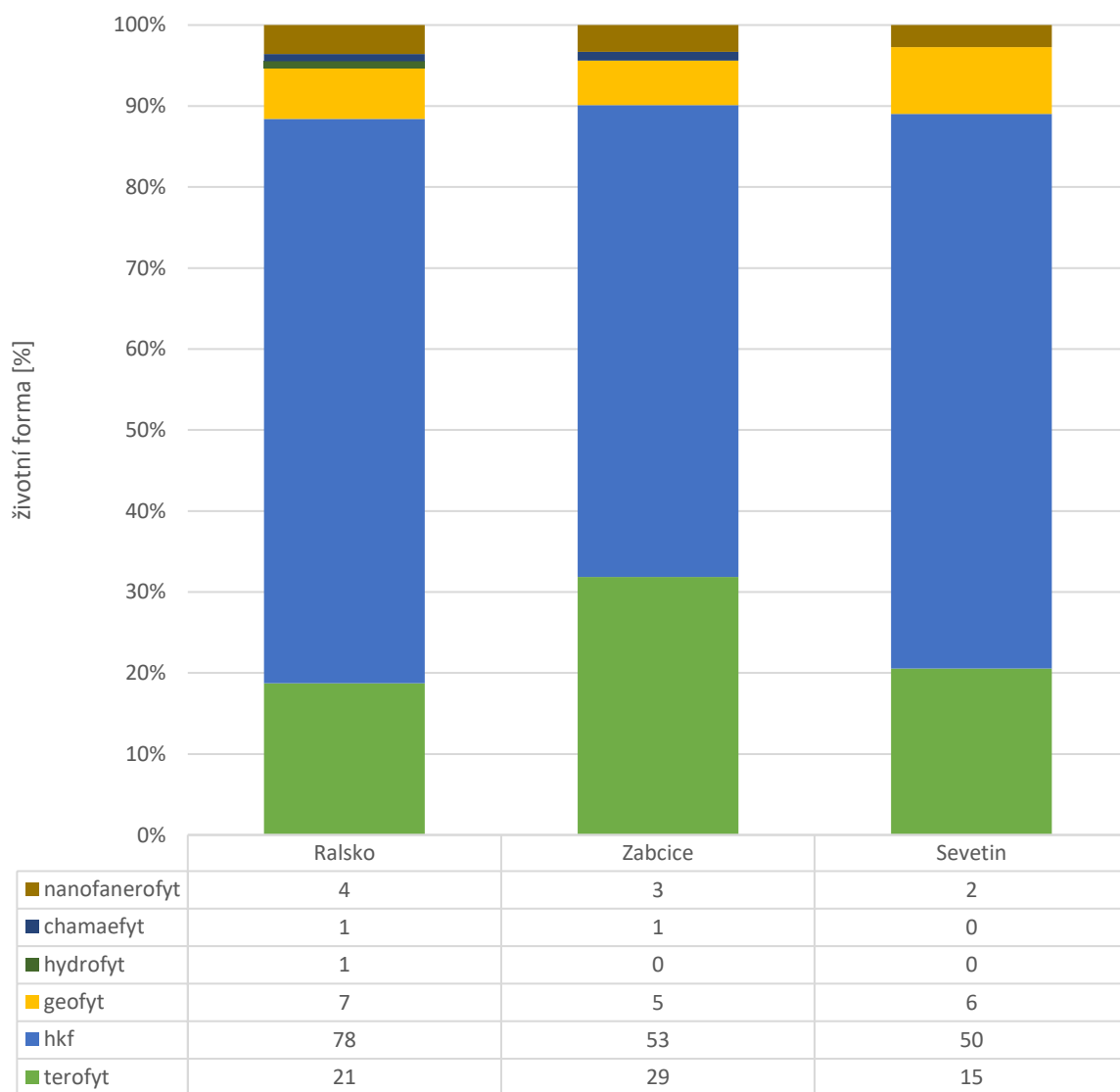
Vegetační průzkum zahrnul vždy konkrétní část území FVE s důrazem na význačné druhové dominanty, resp. význačnou druhovou kombinaci. Vegetační snímkování je uskutečňováno na jednotlivých stacionárech, ale výsledky po prvním roce sledování nejsou průkazné a publikovatelné.

5.4 Výsledky terénního průzkumu z roku 2023

Suma druhů vyskytujících se na všech lokalitách je rovna 53. Jsou to v abecedním pořadí: *Achillea millefolium*, *Ajuga reptans*, *Anthriscus sylvestris*, *Arrhenantherum elatius*, *Artemisia vulgaris*, *Calamagrostis epigejos*, *Campanula patula*, *Carduus acanthoides*, *Carex hirta*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Conyza canadensis*, *Crepis biennis*, *Dactylis glomerata*, *Daucus carota*, *Equisetum arvense*, *Erophila verna*, *Euphorbia cyparissias*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Galeopsis pubescens*, *Galium aparine*, *Galium mollugo* agg., *Galium verum*, *Holcus lanatus*, *Lepidium draba*, *Lotus corniculatus*, *Medicago lupulina*, *Melilotus alba*, *Melilotus officinalis*, *Poa annua*, *Poa pratensis*, *Polygonum aviculare*, *Ranunculus repens*, *Rosa canina*, *Rumex obtusifolius*, *Sambucus nigra*, *Securigera varia*, *Silene latifolia*, *Tanacetum vulgare*, *Taraxacum sect*, *Taraxacum*, *Thlaspi arvense*, *Trifolium repens*, *Tripleurospermum inodorum*, *Trisetum flavescens*, *Tussilago farfara*, *Urtica dioica*, *Veronica hederifolia* agg., *Veronica chamaedrys* agg., *Vicia cracca*, *Vicia sepium*, *Vicia tetrasperma*. Z celkového počtu druhů se jedná o 36 % zastoupení.

Lokalita FVE Žabčice a FVE Ševětín mají pouze tři společně nalezené druhy *Dryopteris filix-mas*, *Geum urbanum* a *Valerianella locusta*. Jako druhově nejbohatší byla vyhodnocena lokalita FVE Ralsko, která má s lokalitou FVE Ševětín společných 11 druhů a s lokalitou FVE Žabčice 14 druhů.

Byl také determinován výrazný podíl druhů, které se vyskytují pouze na jedné z lokalit FVE. Z celkového počtu druhů se jedná o 44 %, tedy 64 druhů. Na základě těchto výsledků lze usuzovat, že každá ze sledovaných lokalit je specifická svým druhovým složením.



Graf 2: Procentuální zastoupení jednotlivých forem na sledovaných lokalitách

6 Bilance pozitivních a negativních vlivů FVE na vegetaci

Je velmi těžké bilancovat negativní a pozitivní faktory fotovoltaických elektráren na vegetaci, a to zejména díky nedostatku dat a faktu, že podmínky vytvořené v jejich areálech jsou zkrátka jiné. Studie prováděné na toto téma jsou až příliš z rozdílných geografických oblastí, aby je bylo možné objektivně porovnávat. Tyto rozdílné podmínky mohou působit jak negativně, tak pozitivně v závislosti na tom, v jakém kontextu je sledujeme. Vytvoření nového prostředí může být pro některé rostlinné druhy záhubou pro jiné naopak příležitostí osídlit novou niku. Stejně tak nelze říct, že využití půdy pro FVE je jednoznačně pozitivní či negativní, jak jsem již naznačil, je třeba dávat věci do kontextu a tím i objektivně porovnávat. V následujících řádcích jsem se pokusil vybrat alespoň nějaké faktory, které by se daly rozřadit do jedné z kategorií.

Pozitivní faktory

V rámci využívání půdy lze uvést, že pokud je FVE umístěna na vhodném místě, lze toto umístění považovat za kladný faktor, jako tato místa Guerin (2023) označuje marginální půdy (2017), čínští autoři jako, Luo et al., hodnotí, že vhodným umístěným jsou například dezertifikované oblasti, kde, kde je možné, že FVE dokonce zlepší místní životní podmínky.

Turney (2021), který porovnával FVE a energii získanou spalováním uhlí, usoudil, že využívání fotovoltaické energie je i v rámci započítání efektů její stavby ekologicky výhodnější, a to zejména v rámci produkce CO₂.

Vervleosem et al. (2022) usuzují, že FVE má lepší podmínky pro vegetaci než zemědělské využití půdy (pšeničné pole) v rámci nižší evapotranspirace, tedy že vyšší vlhkost mezi panely podporuje biodiverzitu.

Zastínění panely může mít pozitivní vliv na stínomilná společenstva rostlin tím, že pro ně vytvoří ideální mikroklima a tím i novou niku (Vervleosem et al. 2022; Armstrong et al., 2016).

Blaydes et al. (2020) popisuje, že FVE může mít příznivý vliv na diverzitu a množství opylovačů a tím i sekundární kladný vliv na vegetaci zde rostoucí.

Negativní faktory

Za negativní vliv FVE lze považovat zejména její špatné umístění, kdy je její stavbou zničeno některé biologicky hodnotné prostředí jako například les (Turney, 2021).

Vervleosem et al. (2022) indikovali, že pod panely je oproti ostatním místům snížený přístup živin a tím i negativně ovlivněna vegetace pod nimi.

Gonzalo et al. (2020) soudí, že v oblastech, kde je nedostatek vody může mít pravidelná údržba panelů a zejména jejich mytí negativní vliv na vodní režim v dané oblasti. Zejména pokud jsou používány chemické prostředky pro jejich údržbu, mohou být kontaminovány spodní vody a tím i zahubena místní vegetace (Vrínceanu, 2019).

Armstrong et al. (2016) díky měření zjistil, že pod panely se objevuje nižší rozmanitost vegetace, zejména díky sníženému slunečnímu záření.

Možnost vzniku požáru díky elektroinstalaci ve špatně udržovaných areálech FVE je možné považovat za silně destruktivní a tím pádem i negativní faktor, kdy Vaverková et al. (2022) zjistili, že hlavní roli hraje zejména způsob managementu vegetace na daném místě a tím i následné riziko požáru.

Závěr

V této bakalářské práci bylo porovnáváno množství studií a výzkumů, které bohužel ve většině případů nebyly prováděny ve stejných geografických podmínkách, proto je těžké je porovnávat a následně objektivně potvrdit, že autoři došli ke stejným výsledkům, kdy víme, že koloběh slunečního svitu bude jednoznačně jiný na čínské poušti a na lokalitě kolem mediteránu. Pro objektivní výsledky by bylo potřeba porovnat výzkumy vykonané za co nejvíce podobných podmínek, bohužel množství těchto výzkumů je v současné době malé, ale vzhledem na tlak v oblastech ochrany přírody a zejména půdy a biodiverzity lze předpokládat, že tyto výzkumy budou přibývat a bude je tedy možné porovnat a vyhodnotit a tím dospět k výsledkům, které se co nejvíce podobají realitě.

Lze konstatovat že instalace rozsáhlých areálů fotovoltaických elektráren může, a dle prozkoumaných studií i má, značný vliv na místní vegetaci a ekosystémy. Tento vliv můžeme přisoudit zejména tomu, že FVE mění aspekty svého okolí a to mikroklimatu, změnu ve světelném režimu, změny ve vodním režimu, změny v dostupnosti živin a potenciální změny v půdním chemismu. Tyto faktory mohou ovlivnit diverzitu vegetace a celkové fungování místního ekosystému.

Studie taktéž ukazují, že správný řízený management vegetace, jako je kosení a pastva, může dopomoci k tomu, aby se minimalizoval negativní vliv FVE a bylo zachováno co největší množství původních druhů nebo připravit prostředí pro nové druhy tím přispět k vyšší stabilitě a rozmanitosti místního ekosystému.

Je jasné, že při správné realizaci a vedení areálů FVE, při správném designu a managementu mohou tyto prostory nabídnout příležitosti pro podporu biodiverzity a vytvoření stabilních bohatých ekosystémů. Současně je však nutné pečlivě zvážit umístění FVE s ohledem na ochranu citlivých ekosystémů, jako jsou lesy, a minimalizovat potenciální konflikty s ochranou přírody a zemědělstvím.

Zdroje

Literární zdroje

- Abou-ras, Daniel, et al. Innovation highway: Breakthrough milestones and key developments in chalcopyrite photovoltaics from a retrospective viewpoint. *Thin Solid Films*, 2017, 633: 2-12.
- Aman, M. M., et al. A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 41: 1190-1204.
- Andreev, V.M., et al. GaAs and High-Efficiency Space Cells. In: Practical Handbook of Photovoltaics, 2nd ed. Cambridge, MA, USA: Academic Press, 2012, pp 399–416.
- Aram, Monireh, et al. A state-of-the-art review of fire safety of photovoltaic systems in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 308: 127239.
- Armstrong, Alona; OStle, Nicholas J.; Whitaker, Jeanette. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 2016, 11.7: 074016.
- Baouche, Fatima Zohra, et al. Design and simulation of a solar tracking system for PV. *Applied Sciences*, 2022, 12.19: 9682.
- Bernardes, Sara, et al. Characterization and design of photovoltaic solar cells that absorb ultraviolet, visible and infrared light. *Nanomaterials*, 2021, 11.1: 78.
- Biesmeijer, Koos, et al. The effects of solar parks on plants and pollinators: The case of Shell Moerdijk. *Naturalis Biodiversity Center*, 2020.
- Blaydes, H., et al. Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 145: 111065.
- Bush, Kevin A., et al. 23.6 %-efficient monolithic perovskite/silicon tandem solar cells with improved stability. *Nature Energy*, 2017, 2.4: 1-7.
- Carr, Geneviève M.; NEARY, James P. *Water quality for ecosystem and human health*. UNEP/Earthprint, 2008.
- Dos santos, Sofia Antunes Alves, et al. The impact of aging of solar cells on the performance of photovoltaic panels. *Energy Conversion and Management: X*, 2021, 10: 100082.

- Falvo, M. C.; Capparella, S. Safety issues in PV systems: Design choices for a secure fault detection and for preventing fire risk. *Case Studies in Fire Safety*, 2015, 3: 1-16.
- Feurer, Thomas, et al. Progress in thin film CIGS photovoltaics—Research and development, manufacturing, and applications. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2017, 25.7: 645-667.
- Fiorentini, Luca, et al. Fire risk assessment of photovoltaic plants. A case study moving from two large fires: From accident investigation and forensic engineering to fire risk assessment for reconstruction and permitting purposes. *Chemical Engineering Transactions*, 2016, 48: 427-432.
- Futscher, Moritz H.; Ehrler, Bruno. Efficiency limit of perovskite/Si tandem solar cells. *ACS Energy Letters*, 2016, 1.4: 863-868.
- Geisz, John F., et al. Six-junction III–V solar cells with 47.1 % conversion efficiency under 143 Suns concentration. *Nature energy*, 2020, 5.4: 326-335.
- Gibson, Luke; Wilman, Elspeth N.; Laurance, William F. How green is ‘green’ energy?. *Trends in ecology & evolution*, 2017, 32.12: 922-935.
- Goetzberger, Adolf; Hebling, Christopher; Schock, Hans-Werner. Photovoltaic materials, history, status and outlook. *Materials science and engineering: R: Reports*, 2003, 40.1: 1-46.
- Gonzalo, Alfredo Peinado; Marugán, Alberto Pliego; Márquez, Fausto Pedro García. Survey of maintenance management for photovoltaic power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 134: 110347.
- Graham, Maggie, et al. Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 2021, 11.1: 1-13.
- Guerin, Turlough. Using agricultural land for utility-scale photovoltaic solar electricity generation. *Agricultural Science*, 2017, 29.1: 40-49.
- Hardy, Colin C. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest ecology and management*, 2005, 211.1-2: 73-82.
- Hernandez, Rebecca R., et al. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2014, 29: 766-779.

- Horváth, Gábor, et al. "Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution." *Frontiers in Ecology and the Environment* 7.6 (2009): 317-325.
- Chamizo, Sonia, et al. Biological soil crust development affects physicochemical characteristics of soil surface in semiarid ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 49: 96-105.
- Chen, Dima, et al. Effects of nitrogen enrichment on belowground communities in grassland: Relative role of soil nitrogen availability vs. soil acidification. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 89: 99-108.
- Klassen, Stephen. The photoelectric effect: Reconstructing the story for the physics classroom. *Science & Education*, 2011, 20: 719-731.
- Lameirinhas, Ricardo A.; Torres, João Paulo N.; De Melo Cunha, João P. A photovoltaic technology review: History, fundamentals and applications. *Energies*, 2022, 15.5: 1823.
- Liu, Yu, et al. High-efficiency silicon heterojunction solar cells: materials, devices and applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2020, 142: 100579.
- Liu, Yu, et al. The influence of litter crusts on soil properties and hydrological processes in a sandy ecosystem. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2019, 23.5: 2481-2490.
- Luo, Lihui, et al. Environmental impacts of photovoltaic power plants in northwest China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2023, 56: 103120.
- Lynn, Paul A. *Electricity from sunlight: an introduction to photovoltaics*. John Wiley & Sons, 2011.
- Marrou, H elene, et al. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 177: 117-132.
- Musa, Abdulwaheed, et al. A review of time-based solar photovoltaic tracking systems. *Information*, 2023, 14.4: 211.
- Nagengast, Amy; Hendrickson, Chris; Matthews, H. Scott. Variations in photovoltaic performance due to climate and low-slope roof choice. *Energy and Buildings*, 2013, 64: 493-502.
- Paço, Teresa A., et al. Evapotranspiration from a Mediterranean evergreen oak savannah: the role of trees and pasture. *Journal of Hydrology*, 2009, 369.1-2: 98-106.
- Quaschnig, Volker. *Obnoviteln e zdroje energi . Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3250-3*

- Shay, J.L., Wagner, Sigurd, Kasper, H.M. Efficient CuInSe₂/CdS solar cells. *Applied Physics Letters*. 15 July 1975, 27(2), 89–90.
- Schindler, Bracha Y., et al. Green roof and photovoltaic panel integration: Effects on plant and arthropod diversity and electricity production. *Journal of environmental management*, 2018, 225: 288-299.
- Smith, Jeffrey L.; Doran, John W. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. *Methods for assessing soil quality*, 1997, 49: 169-185.
- Tsoutsos, Theocharis; frantzeskaki, Niki; gekas, Vassilis. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy policy*, 2005, 33.3: 289-296.
- Turney, Damon; Fthenakis, Vasilis. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15.6: 3261-3270.
- Uldrijan, Dan, et al. Ecological effects of preferential vegetation composition developed on sites with photovoltaic power plants. *Ecological Engineering*, 2021, 168: 106274.
- Vaverková, Magdalena Daria, et al. Fire hazard associated with different types of photovoltaic power plants: Effect of vegetation management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 162: 112491.
- Vervloesem, Jeffrey, et al. Effects of photovoltaic solar farms on microclimate and vegetation diversity. *Sustainability*, 2022, 14.12: 7493.
- Vodyanitskii, Yu N.; makarov, M. I. Organochlorine compounds and the biogeochemical cycle of chlorine in soils: a review. *Eurasian Soil Science*, 2017, 50: 1025-1032.
- Vrínceanu, Alexandra, et al. Impacts of photovoltaic farms on the environment in the Romanian Plain. *Energies*, 2019, 12.13: 2533.
- Weinstock, D.; Appelbaum, J. Optimization of solar photovoltaic fields. 2009.

Elektronické zdroje

- Britannica. 2022. Microclimate. Britannica. Available from <https://www.britannica.com/science/microclimate> (accessed April 2024).
- Clean Energy Reviews. 2021. Solar Panel Components & Construction. Clean Energy Reviews. Available from <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction> (accessed April 2024).

- Čermáková K. 2024. Česko se opět zařadilo mezi gigawattové země, musí ale přidat v akumulaci. Obnovitelne. Available from <https://www.obnovitelne.cz/clanek/2937/rekordni-solarni-rok-cesko-se-opet-zaradilo-mezi-gigawattove-zeme-musi-ale-pridat-v-akumulaci> (accessed April 2024).
- ČEZ, a. s. 2024. Fotovoltaické elektrárny Ralsko a Mimoň. ČEZ a. s. Available from <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/slunce/provozovane-fotovoltaicke-elektrarny/fotovoltaicke-elektrarny-ralsko-a-mimon-58088> (accessed April 2024).
- Hodboď J. 2022. Výroba elektrické energie v ČR podle zdroje. TZB-info. Available from <https://vytapani.tzb-info.cz/elektricke-vytapani/23485-vyroba-elektricke-energie-v-cr-podle-zdroje> (accessed March 2024).
- International Energy Agency. 2023. Solar PV. International Energy Agency. Available from <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv> (accessed March 2024).
- Mujgoš, M. 2023. Jaké jsou typy fotovoltaických systémů? Evolty Available from <https://evolty.cz/fve/typy-fotovoltaickych-systemu/> (accessed March 2024).
- Shah, A. 2010. Poverty Facts and Stats. Global Issues. Available from <http://www.globalissues.org/article/26/poverty-facts-and-stats> (accessed March 2024).
- Solar Energy Industries Association. 2024. About Solar Energy. Available from <https://www.seia.org/initiatives/about-solar-energy> (accessed March 2024).
- Straková, V. 2010. Provozování FV systémů. Západočeská univerzita v Plzni. Available from https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/3976/1/Strakova_Veronika_Provozovani_FV_systemu.pdf (accessed March 2024).
- Sylvia, T. 2020. Solar system fires are on the rise in the U.S. pv magazine. Available from <https://www.pv-magazine.com/2020/04/23/solar-system-fires-are-on-the-rise-in-the-u-s/> (accessed March 2024).
- Vobořil D. 2016. Fotovoltaická elektrárna: Princip, funkce a součásti. O energetice. Available from <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti> (accessed March 2024).

Seznam objektů

Obrázek 1: Generace FV panelů dle materiálu výroby (Lameirinhas, 2022).....	12
Obrázek 2: Základní popis FV buňky 1 (Quaschnig, 2010)	13
Obrázek 3: Konstrukce fotovoltaického panelu (Clean Energy Reviews, 2022)	14
Obrázek 4: Princip rotačního panelu (Musa, 2023).....	18
Obrázek 5: Výroba elektřiny v ČR dle zdroje (Josef Hodboď, 2022)	20
Obrázek 6: Rozdíly vlivu LU na půdu u areálu fotovoltaické elektrárny a pšeničného pole (Vernleosen et al. 2022).....	30
Obrázek 7: Chemické složení půdy vně a mimo FVE (Luo et al. 2023).....	31
Obrázek 8: Hodnoty IB dle konstrukce FV panelů a způsobu managementu vegetace (Vaverová et al. 2022)	37
Obrázek 9: Pokryvnost, zastoupení a hodnota biomasy vegetace v měřené oblasti (Armstrong et al. 2016)	38
Obrázek 10: Pokryvnost jednotlivých druhů dle skupin a stanoviště (Uldrian, et al. 2021)	40
Obrázek 11: Fotovoltaická elektrárna Ralsko (autor fotografie RNDr. Milan Skalický Ph.D., 2023)	44
Obrázek 12: Fotovoltaická elektrárna Žabčice (autor fotografie RNDr. Milan Skalický Ph.D., 2023)	45
Obrázek 13: Fotovoltaická elektrárna Ševětín (autor fotografie RNDr. Milan Skalický Ph.D., 2023)	46
Mapa 1: Výroba solární energie globálně v roce 1965 (Our World in Data, 2024).....	23
Mapa 2: Výroba solární energie globálně v roce 1990 (Our World in Data, 2024).....	23
Mapa 3: Výroba solární energie globálně v roce 2022 (Our World in Data, 2024).....	24
Graf 1: Vývoj výroby solární energie v průběhu 20. a 21. století (Our World in Data, 2024) ..	24
Graf 2: Procentuální zastoupení jednotlivých forem na sledovaných lokalitách	48