



Národní centrum zemědělského
a potravinářského výzkumu

Program **Prostředí pro život**



Certifikovaná metodika pro založení a nastavení
biopásů v kombinaci s vertikálními bifaciálními
fotovoltaickými systémy (VBFS) podle základní
koncepce podmínek AEKO (agroenvironmentálně-
klimatická opatření) v konvenčním zemědělství

Certifikovaná metodika Nmet_c

Květen, 2025

Název certifikované metodiky:

Certifikovaná metodika pro založení a nastavení biopásů v kombinaci s vertikálními bifaciálními fotovoltaickými systémy (VBFS) podle základní koncepce podmínek AEKO (agroenvironmentálně-klimatická opatření) v konvenčním zemědělství

Autoři:

David Hájek¹⁾, Ladislav Jílek¹⁾, Ilona Gerndtová¹⁾, Tomáš Kušev¹⁾, Radek Pražan¹⁾, Zdeněk Abrahám¹⁾, Pavel Saska²⁾, Jan Štrobach²⁾, Hana Vašková²⁾, Petr Novák³⁾, Přemysl Štranc⁴⁾, Daniel Štranc⁴⁾

¹⁾ Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu v.v.i., odbor OZT, Praha Ruzyně

²⁾ Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu v.v.i., odbor OOPZR, Praha Ruzyně

³⁾ Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Praha Suchbát

⁴⁾ Stradlova s.r.o., Praha Suchbát

Dedikace:

Certifikovaná metodika vznikla jako výsledek řešení projektu TAČR, Prostředí pro život, 5. VS, číslo SS05010243 „Výzkum kombinace biopásů s vertikálními agrivoltaickými systémy jako součástí agroenvironmentálně-klimatických opatření vedoucích k podpoře biodiverzity“.

Oponentní posudky vypracovali:

Ing. Jaroslav Hudáček, MZe ČR, oddělení OZE a environmentálních strategií, Těšnov 17, 110 00 Praha 1

Doc. Ing. Jan Vopravil, Ph.D., Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v. v. i., Žabovřeska 250, 156 00 Praha 5 – Zbraslav

Certifikované metodice bylo dne 25.6.2025 uděleno „Osvědčení č. j. MZE-47728/2025 o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací, schválené usnesením vlády dne 8. února 2017 č. 107 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády dne 29. listopadu 2017 č. 837.

Vydal:

© Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu, v.v.i., 2025

Tisk: Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu, v.v.i., Praha

ISBN: 978-80-7427-445-9

Obsah

I.	Cíl metodiky.....	4
II.	Vlastní popis metodiky	5
1.	Úvod.....	5
2.	Použité podklady a vstupy do certifikované metodiky	11
3.	Metodika postupů realizace VBFS v kombinaci s AEKO	12
4.	Pokusná lokalita.....	17
5.	Půdní podmínky	19
6.	Půdní teplota a vlhkost s teplotou vzduchu nad povrchem půdy.....	22
7.	Hodnocení kvality aplikace průmyslových hnojiv (PH – průmyslových hnojiv)	30
8.	Hodnocení kvality aplikace prostředků na ochranu rostlin (POR – prostředků na ochranu rostlin).....	34
9.	Výnos hlavní plodiny - obiloviny	39
10.	Sledování biodiverzity	40
11.	Meteorologické údaje	49
12.	Model výkonu vertikální agrovoltaické elektrárny a stanovení ekonomických parametrů	63
13.	Legislativní proces výstavby VBFS.....	68
14.	Ověření simulace a skutečné VBFS	70
III.	Srovnání novosti postupů	80
IV.	Popis uplatnění metodiky	81
V.	Ekonomické aspekty.....	82
VI.	Seznam použité související literatury	83

Poděkování:

Chceme poděkovat všem lidem, kteří přímo či nepřímo přispěli k realizaci projektu. Zejména řešitelským týmům a zástupcům samosprávy, kteří byli velmi ochotní a vstřícní nad rámec svých povinností.

Anotace:

Kombinace biopásů s vertikálními bifaciálními fotovoltaickými systémy (VBFS) lze využít jako podporu biodiverzity v zemědělské krajině při současném zvýšení ekonomické atraktivity biopásů skrze tvorbu obnovitelné elektrické energie. Agrovoltaika, tedy kombinovaná výroba energie a potravinářských komodit na jednom pozemku, může mít řadu synergických výhod. Na jedné straně je snížení ztrát půdní vlhkosti, ochrana proti větrné erozi, popř. za určitých podmínek i zvýšení výnosů plodin, na druhé straně je to výroba čisté elektrické energie přinášející ekonomický profit a tím i vyšší motivace k zakládání biopásů. Jelikož se VBFS instaluje do pásu neobdělané půdy, agrovoltaika zároveň představuje při vhodném založení a managementu těchto pásů možnost podpory biodiverzity. Vhodné umístění a rozvržení těchto pásů může chránit zemědělskou půdu před vodní i větrnou erozí. Tyto parametry činí agrovoltaiku kompatibilní se systémem agro-environmentálně-klimatických opatření (AEKO).

Klíčová slova:

Biodiverzita na zemědělské půdě, biopásy, biodiverzita rostlin, biodiverzita hmyzu, agrovoltaika,

POZN. AUTORA - V návrhu projektu bylo uvedeno pojmenování „agrivoltaika“, legislativní vývoj v ČR během realizace projektu definoval terminologii včetně zavedení pojmu „agrovoltaika“. V certifikované metodice budeme nadále používat aktuální pojem „agrovoltaika“.

Annotation:

Combining sown vegetation strips with vertical bifacial photovoltaic systems (VBFS) may be used to promote biodiversity in agricultural landscapes while increasing the economic attractiveness of these strips through the generation of renewable energy. Agrivoltaics, the combined production of energy and food commodities on one plot of land, can provide a number of synergistic benefits. From the agronomical point of view the benefits include reduction of soil moisture loss, protection against wind erosion and, under certain conditions, an increase in crop yields. On the other hand, it provides clean energy production, which brings economic profit and thus a higher incentive to set up biostrips. As VBFS are installed inside the strips of uncultivated land, agrivoltaics also represent an opportunity to promote biodiversity if these strips are established and managed properly. The appropriate location and layout of these strips can protect agricultural land from both water and wind erosion. These parameters make agrivoltaics compatible with agro-environmental-climatic measures (AEKO).

Key words:

Biodiversity in agricultural land; vegetative strips; plant diversity; insect diversity; agrivoltaics

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky jsou metodické, technologické a agrotechnické postupy při zavádění a využívání kombinace biopásů a vertikální agrovoltaiky do správné zemědělské praxe pro zvýšení biodiverzity na zemědělské půdě a ekonomické atraktivity využití biopásů. V rámci metodiky jsou vyhodnoceny výzkumně ověřené postupy zakládání biopásů, pěstování plodin, sledování biodiverzity rostlin a hmyzu v rámci nainstalovaných konstrukcí simulujících VBFS. Doporučení z projektu se promítnou do legislativního a ekonomického hodnocení.

II. Vlastní popis metodiky

1. Úvod

Přehled

Agrovoltaické systémy (APV), spojující produkci fotovoltaické energie a zemědělskou výrobu, jsou ve světě stále více využívaným fenoménem. Navzdory vzrůstajícímu významu agrovoltaiky existuje značná míra výzkumné nejistoty ohledně jejích dopadů na výnosy plodin, erozi půdy, půdní vodní režim a biodiverzitu.

Vzhledem k faktu, že většina výzkumných aktivit v dotčené oblasti využití agrovoltaiky v zemědělském sektoru pochází ze zahraničí a je značně ovlivněna lokálními podmínkami, je nezbytné kvantifikovat přínosy a rizika využití této technologie v podmínkách ČR. Není zcela jasné, jak se agrovoltaické systémy projeví v různých klimatických a půdních podmínkách ČR a jaký bude dopad na různé druhy plodin. Přestože existují předběžné studie, které se zabývají těmito otázkami, je nezbytné vyhodnotit větší množství empirických dat a zpracovat více modelových výpočtů, aby bylo možné spolehlivě predikovat reálné scénáře vývoje a uplatnění této technologie v rámci ČR.

Lze předpokládat, že snaha o využití zemědělských ploch pro produkci energie, včetně těch produkčních, bude nadále vzrůstat, ačkoliv výsledky v oblasti výnosů plodin se liší zejména v závislosti na konkrétních klimatických podmínkách sledované lokality a pěstované plodiny. Agrovoltaika může mít různé dopady na erozi půdy. Výsledky těchto dopadů závisí na specifickém uspořádání agrovoltaických systémů. Vliv na biodiverzitu může být dle různých zahraničních studií potenciálně přínosný. Agrovoltaika představuje inovativní a udržitelný způsob zemědělské praxe, který se v mnoha zemích stává stále běžnější. I přes svůj rychlý rozmach v okolních zemích jsou otázky o vlivu agrovoltaiky na zemědělské hospodaření a životní prostředí stále aktuální, zvláště v kontextu podmínek České republiky. V současné době nelze legálně realizovat výstavbu agrovoltaického systému na orné půdě v kombinaci s polními plodinami. Legislativa umožňuje výstavbu fotovoltaické elektrárny na orné půdě a tato půda bude vyjmuta ze Zemědělského půdního fondu.

Použití systémů APV nabízí řadu příležitostí, které se liší v závislosti na regionálních a klimatických podmínkách. Přidaná hodnota technologie APV, jak popisují Weselek et al. (2019), spočívá v tom, že např. v hustě osídlených průmyslových zemích, kde rozšiřování

obnovitelných zdrojů energie nabývá stále většího významu, je třeba zachovat udržitelnou zemědělskou produkci. V suchých letech mohou mikroklimatické změny pod APV přispět ke stabilizaci výnosů a kompenzovat sezónní výkyvy klimatu a výnosů. To může být v budoucnu s očekávanou změnou klimatických podmínek ještě důležitější (Weselek et al., 2019).

V souvislosti s rozšiřováním obnovitelných zdrojů energie, jak popisují Schneider et al. (2023) je zejména zemědělská půda v centru zájmu různých zájmových skupin, od výroby potravin až po výrobu energie. V mezioborové studii autorů Schneider et al. (2023) je poukázáno na možnosti a limity společných synergií z propojení výroby potravin, výroby energie, spotřeby energie, ochrany biologické rozmanitosti a společenské akceptace obnovitelných energií. Biodiverzita a agrovoltaika, tj. agrovoltaika v kombinaci s opatřeními na ochranu biologické rozmanitosti (např. kvetoucí pásy), může kromě významného přínosu k podpoře propojení biotopů přispět k rozvoji výroby energie. Tento pozitivní trend je vykázan na regionálním hodnocení založeném na geografickém informačním systému pro Dolní Sasko. Tento fakt je potvrzen i pomocí modelování výroby a spotřeby energie během pěstování rostlin v oblasti, která je v tomto případě příkladem charakteristického zemědělského pole ve sprašové oblasti Dolního Saska (Schneider et al. 2023).

V případě biologické rozmanitosti v zemědělské krajině je cílem strategie EU v oblasti biologické rozmanitosti do roku 2030 spojit strategii „od farmy k vidličce“ a společnou zemědělskou politiku, aby se podpořily pobídky pro zemědělce k uplatňování ekologických programů. Kromě pokračujícího úbytku biologické rozmanitosti nutí lidstvo změna klimatu k udržitelné transformaci způsobů, jakými se v posledních desetiletích vyráběly a spotřebovávaly potraviny a energie (Rosenzweig et al., 2020).

Příspěvek Scognamiglio (2016) přináší poznatky o tom, že fotovoltaické systémy by měly být navrhovány jako součást krajiny, do které patří, a to podle „inkluzivního“ přístupu k návrhové praxi. Tento přístup se nezaměřuje pouze na celkovou energetickou účinnost systému, ale rozšiřuje se o další ekologické a krajinné cíle. Byla navržena originální vize energetického designu pro pozemní fotovoltaické systémy, která vychází z originálního konceptu „fotovoltaické krajiny“. Je zde podáno vysvětlení chápání „fotovoltaické krajiny“ z hlediska vzorů, a jsou zkoumány nové vzory pro fotovoltaiku.

Z více než 14 GWp instalované kapacity zemědělské fotovoltaiky na celém světě, jak referují Trommsdorff et al. (2024) na základě odhadu Fraunhofer ISE (D), má největší podíl Čína, kde bylo v červenci 2021 více než 12 GWp. Je zde také instalován světově největší APV systém mezi fotovoltaickými moduly s instalovanou kapacitou v řádu modulů s instalovaným výkonem 700 MWp. Tyto systémy jsou instalovány na okraji pouště Gobi a tím pomáhají v boji proti rozšiřování pouští. Mezi další asijské země, které se věnují výzkumu této problematiky, lze řadit i Japonsko a Jižní Koreu. V Japonsku je v současné době instalováno více než 3 000 těchto systémů. V Jižní Koreji, kde dochází k silnému odlivu obyvatelstva z venkova, plánuje vláda výstavbu 100 000 APV na zemědělských farmách (Trommsdorff et al., 2024).

Kromě toho dochází k politickému vývoji, který je obtížné předvídat a který ovlivňuje výrobu a spotřebu potravin a energie. Válka na Ukrajině s sebou přinesla nežádoucí vedlejší účinky, mj. pro zemědělský a potravinářský sektor. Tento negativní geopolitický trend odhalil zranitelná místa a propletence energetického, zemědělského a komoditního systému (Světová banka 2022).

Strategie udržitelného rozvoje Německa si klade za cíl snížit „zábor půdy“ pro bydlení, průmysl, silnice nebo rekreační účely na 30 hektarů denně do roku 2030 a „žádný čistý zábor půdy“ do roku 2050 (Schindele 2021). Agrovoltaické systémy, které by nahradily standardní fotovoltaické systémy, by mohly zachovat cca 60 tis. hektarů orné půdy a tím významně snížit zábor půdy (Schindele, 2021).

Společnou cestu a východisko pro produkci zemědělských komodit, výrobu elektrické energie a otázku životního prostředí představují podle Tilmanna et al. (2009) agrovoltaické systémy. Novela zákona „O obnovitelných zdrojích“ v roce 2022 v Německu umožňuje od 1. 1. 2023 výrobu solární energie prostřednictvím instalací agrovoltaických panelů na orné půdě. Stavby agrovoltaických systémů se většinou provádí na orné půdě, TTP (trvalých travních porostech) a v průmyslových areálech, kdy např. v Německu celkový instalovaný výkon byl v roce 2018 11,37 GWp na výměře 25 500 ha (Böhm a Tietz, 2022). Roční nárůst těchto instalací byl podle studie autorů (Böhm a Tietz, 2022) odhadnut s 1100 ha ročně od roku 2014.

Vysvětlivky: GWp = gigawatt-peak, MWp = megawatt-peak - jednotka, která udává výkon solárních panelů, následně celé solární elektrárny.

V rámci „Programu na podporu využívání energie ve venkovských oblastech“ (REAP) poskytuje americké ministerstvo zemědělství také finanční prostředky na podporu solárních systémů ve venkovských oblastech. Další instalace se nacházejí v Arizoně, Coloradu, Indianě a Oregonu. Obzvláště oblíbené jsou systémy, které se zaměřují na zemědělské využití, ale jsou spojeny s druhově bohatými stanovišti. Několik univerzit a výzkumných institucí pracuje na vývoji obchodních modelů, aby se APV systémy staly životaschopnými se zaměřením na zemědělské využití (Trommsdorff et al., 2024).

Výzkumné zařízení APV v Massachusetts, jak referují Trommsdorff et al. (2024), úspěšně provedlo dvojí využití rostlinné výroby a výroby elektřiny. V návaznosti na to tento stát (USA) od roku 2018 poskytuje finanční prostředky na dvojí využití půdy. Tyto dotace jsou vázány na požadavky, kdy financování je poskytováno pouze na systémy, které jsou vybudovány na zemědělsky využívaných plochách, tedy určené zemědělské půdě, a nejsou větší než 2 MWp. Spodní okraj fotovoltaických modulů musí být minimálně 2,4 metru, řady modulů musí být vysoké nejméně 2,4 metru, v případě 3 metrů je to možné u systémů se sledováním modulů (Trommsdorff et al., 2024).

Nicméně instalace agrovoltaických systémů na orné půdě v intenzivně využívaných zemědělských oblastech může být z hlediska přijetí komplikovanější. Zde je důležitá vysoká informovanost zemědělců, politiků, průmyslových odvětví, a hlavně veřejné společnosti pomocí kvantifikovaných faktů (Wüstenhagen et al., 2007). Zemědělci zauímají v inovačních procesech v zemědělství zvláštní roli, protože nejsou jen budoucími uživateli, ale také multiplikátory procesů změn (Bokelmann et al., 2012).

Zkušenosti ze zahraničních výzkumných projektů na plodinách

Málo studií bylo prozatím zaměřeno na druhy rostlin, které se zdají být vhodnými kandidáty pro pěstování ve stínu. Například některé druhy lučních trav, jako je kostřava nebo vojtěška, trpí zpomalením růstu během stínu v letních obdobích, a to převážně v důsledku vodního stresu (Gastal et al., 2015). Zastínění APV by proto mohlo přispět k lepší podpoře růstu těchto rostlin v letním období. Naopak studie provedené pod dřevěnými lamelami poukazují na fakt, že ztráta biomasy vojtěšky bez stresových podmínek je přímo úměrná množství zastínění (Varela et al., 2011).

Výsledky Campana *et al.* (2021) ukazují, že vzdálenost řad mezi bifaciálními fotovoltaickými panely významně ovlivňuje rozložení fotosynteticky aktivního záření. Výnos ovsa a brambor se snižoval přibližně o 50 % při zmenšení vzdálenosti řádků vertikální agrovoltaiky z 20 m na 5 m. Zavedení APV systému pro hodnocení plodin ve zvolené lokalitě vykazuje poměr LER (efektivita využití půdy, z anglického překladu výrazu „land equivalent ratio“) vyšší než 1,2, což ospravedlňuje použití technologie pro dosažení národních cílů udržitelnosti (Campana *et al.*, 2021).

V další studii u německého APV systému zjistili, že LER index byl u bio brambor a ozimé pšenice ve výši 0,85 a 4,62. Z výsledků dále vyplývá, že převedené náklady na elektřinu jsou u APV systémů o 38 % vyšší než u pozemního systému fotovoltaické elektrárny, což je způsobeno vysokými náklady na montážní konstrukci APV a půdoochranná opatření. Proto doporučují zavedení APV systémů u trvalých kultur, které již vyžadují výstavbu podpůrných konstrukcí pro pěstované kultury, aby se snížily náklady na montáž konstrukcí APV (Schindele *et al.*, 2020).

Při produkci pšenice po dvou jdoucích sezónách biomasa pšenice vykazovala pod APV výrazný nárůst, a to s výrazným nárůstem výnosů v první sezóně a méně výraznou změnou v druhé sezóně (druhém roce), přičemž nárůst produkce pšenice ve druhém roce byl vyšší než v předchozím roce. To bylo způsobeno především horkým letním počasím (Weselek *et al.*, 2021).

Zahraniční studie naznačují, že agrovoltaické systémy mohou zvýšit celkovou produktivitu půdy díky efektivnímu využití sluneční energie, což se projevuje ve zvýšené hodnotě ukazatele LER.

Výsledky dvouletého pokusu v Belgii, které publikovali Reher *et al.* (2024), prokázaly mírně pozitivní LER u cukrové řepy a ozimé pšenice, a to navzdory nižší osevní ploše a výnosům.

Victoria *et al.* (2024) hodnotila simulaci APV systému při 11 m meziřádkové vzdálenosti a 50 cm mezery mezi dvěma solárními panely a 50 cm mezi panely a zemí. To vedlo k omezenému zastínění plodin a k dobrému kompromisu pro účinek ochrany před větrem, přičemž se zabránilo většímu zatížení větrem, které by vyžadovalo silnější základy pro vertikální panely. Studie zahrnovala odhadované roční výnosy plodin, roční výrobu elektřiny a poměr LER pro systémy APV zahrnující vertikální a jižně orientované solární panely (Victoria *et al.* 2024). Relativní výnosy plodin byly vypočteny na základě celosvětového průměrného

výnosu plodin (hmotnost sušiny) 4,27 t/ha pro pšenici ozimou na zrno a 5,32 t/ha pro jetel luční. Relativní roční výroba elektřiny je vypočtena na základě simulované referenční roční výroby elektřiny 935 MWh/ha pro fotovoltaický systém s jižně orientovanými solárními panely s meziřádkovou vzdáleností 5 m (Victoria *et al.*, 2024).

Zkušební ze zahraničních výzkumných projektů

Pro vysoce hodnotné plodiny pěstované pod solárními panely bylo zaznamenáno několik experimentálních výsledků (např. Willockx *et al.* 2024); Fumey *et al.* 2023), ale pro vertikální solární panely, které lze instalovat na orné půdě, je většina výsledků založena na simulacích nebo zahrnuje malé demonstrační plochy, které zahrnují jednu nebo dvě řady solárních panelů, které jsou velmi citlivé na okrajové efekty (Campana *et al.* 2024). Důležitou výhodou vertikálního systému ve srovnání s horizontálním systémem je menší potřeba materiálu na výstavbu, což může významně ovlivnit celkovou návratnost investice a výsledky analýzy životního cyklu.

Jak zjistil Ma (2022), pokud jde o snížení emisí uhlíku, APV systémy umožňují snížení emisí CO₂ až o 20-55 %. Vysoké ceny elektřiny ve Španělsku zvyšují dostupné LCOE (LCOE - **Vyrovnané náklady na elektřinu** jsou měřítkem průměrných čistých současných nákladů na výrobu elektřiny pro výrobce po dobu jeho životnosti) pro APV systémy. Na tepelnou energii v Andalusii připadá 45 % elektrické energie, což vede k vysokému emisnímu faktoru. Instalace agrovoltaických systémů v Almerii může výrazně snížit emise uhlíku (Ma, 2022).

Typickým trendem posledních let je výzkum zaměřený na různé zemědělské aspekty. Výsledky výzkumu ukazují, že vědecké publikace se v posledních letech zaměřují především na krátkodobé předpovědi různých vlivů (Chalgynbayeva *et al.*, 2023).

2. Použité podklady a vstupy do certifikované metodiky

Do certifikované metodiky byly použity podklady vzniklé v rámci řešení projektu TAČR, Prostředí pro život, 5. VS, SS05010243 „Výzkum kombinace biopásů s vertikálními agrovoltaickými systémy jako součásti agroenvironmentálně-klimatických opatření vedoucích k podpoře biodiverzity“, který využil při realizaci nejdříve simulace VBFS a následně doplnil o zjištění získaná v rámci realizované experimentální VBFS včetně výstupů z projektu:

- JÍLEK, L., D. HÁJEK, R. PRAŽAN, P. SASKA, H. FOFFOVÁ, P. NOVÁK. Agrivoltaika – možnost zvýšení využití půdy? [Agrivoltaics - a way to increase land use?]. Selská revue. 2022, 6, s. 70-72. ISSN: 2533-3607.
- JÍLEK, L., D. HÁJEK, P. SASKA, R. PRAŽAN, P. NOVÁK, H. VAŠKOVÁ. Využití agrofotovoltaiky v našem zemědělství. [The use of agriphotovoltaics in our agriculture]. Energie 21. 2022, 5, s. 22-23. ISSN: 1803-0394
- JÍLEK, L., D. HÁJEK, P. SASKA, P. NOVÁK, R. PRAŽAN, H. FOFFOVÁ. Agrivoltaika v podmínkách České republiky. [Agrivoltaics in the Czech Republic]. Agromanuál. 2022, 6, s. 120-122. ISSN 1801-7673.
- JÍLEK, L., D. HÁJEK, R. PRAŽAN, P. SASKA, H. FOFFOVÁ, P. NOVÁK. Agrivoltaika v našem zemědělství. [Agrivoltaics in our agriculture]. Zemědělec. 2022, 48, s. 36. ISSN: 1211-3816.
- HÁJEK, D., JÍLEK, L. Agrivoltaika v ČR [Agriphotovoltaics in the Czech Republic] Příspěvek seminář. ČTPZ - ZEMĚDĚLSKÉ TECHNOLOGIE A SPOTŘEBA ENERGIE. Praha. 24.6.2022.
- JÍLEK, L., D. HÁJEK, P. SASKA, P. NOVÁK, R. PRAŽAN, H. FOFFOVÁ. Význam a využití agrofotovoltaiky v praxi [Relevance and use of agrivoltaics in practice]. Selská revue. 2023 , 7, s. 91-93. ISSN: 2533-3607.
- JÍLEK, L., D. HÁJEK, P. SASKA, P. NOVÁK, R. PRAŽAN, H. FOFFOVÁ. Agrofotovoltaika, přínosy a rizika nového trendu v zemědělství [Agrivoltaics, benefits and risks of the new trend in agriculture]. Úroda. 2023 , 70/3, s. 85-87. ISSN: 0139-6013.
- ŠTROBACH, Jan, Hana VAŠKOVÁ, Jiří SKUHROVEC, Pavel SASKA, David HÁJEK, Ladislav JÍLEK, Petr NOVÁK, Daniel ŠTRANC, Přemysl ŠTRANC. Plevelé na plochách agrofotovoltaické elektrárny v širších souvislostech [Weeds on agro photovoltaic power plant sites in a wider context]. Selská revue. 2025. ISSN: 2533-3607.

- JÍLEK, Ladislav, David HÁJEK, Pavel SASKA, Petr NOVÁK, Radek PRAŽAN, Hana VAŠKOVÁ, Ilona GERNDTOVÁ, Agnes HÁJEK, Přemysl ŠTRANC a Daniel ŠTRANC. Agrofotovoltaika a pěstování polních plodin. Agromanuál. 2024, IXX (5), 124-126. ISSN 1801-7673 (print). ISSN 1801-4895 (on-line)
- a další publikované výstupy v roce 2025.

V rámci projektu byla realizována výstavba 49,95 kWp instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny, ze které vychází veškerá získaná data s vyhodnocením. Prvotní údaje byly získány ze simulace VBFS a následně ověřovány na skutečných VBFS.

3. Metodika postupů realizace VBFS v kombinaci s AEKO

Dle pravidel agroenvironmentálních komplexních opatření pro rok 2022 (dále jen AEKO) je cílem podpořit takové způsoby využití zemědělské půdy, které jsou v souladu s ochranou a zlepšováním životního prostředí, krajiny a jejich vlastností. Opatření podporuje zachování obhospodařovaných území vysoké přírodní hodnoty, přírodních zdrojů, biologické rozmanitosti a údržbu krajiny. Tvoří ho podopatření Integrovaná produkce zaměřená na pěstování ovoce, révy vinné a zeleniny postupy šetrnými k životnímu prostředí, podopatření ošetřování travních porostů, zaměřené na údržbu cenných stanovišť na trvalých travních porostech, podopatření zatravňování orné půdy, s cílem prevence eroze půdy, podopatření biopásy, sloužící k podpoře biodiverzity ptáků, drobných obratlovců a opylovačů v zemědělské krajině a podopatření ochrana čejky chocholaté s cílem chránit hnízdiště tohoto druhu a dalších druhů ptáků hnízdících v zemědělské krajině (Metodika k provádění nařízení vlády č. 330/2019 Sb. a č. 75/2015 Sb.).

Podopatření 10.1.6 Biopásy má za cíl podpořit biodiverzitu ptactva, drobných obratlovců a opylovačů v zemědělské krajině skrze zajištění potravních zdrojů a poskytnutí úkrytů v období, kdy je jich v zemědělské krajině nedostatek. Dotace je vyplácena na ha biopásu. Žadatel je povinen založit biopás o stanovených rozměrech a dodržovat stanovený způsob obhospodařování plochy biopásu (Metodika k provádění nařízení vlády č. 330/2019 Sb. a č. 75/2015 Sb.).

V rámci podopatření jsou realizovány tituly: 10.1.6.1 Krmný biopás a 10.1.6.2 Nektarodárný biopás.

Realizace projektu byla provedena na základě následujících podmínek podopatření biopásů

AEKO:

- vytvoření biopásu na dílu půdního bloku (DPB) o šíři nejméně 6 metrů a nejvýše 24 metrů, přičemž souvislá délka biopásu činí nejméně 30 m,
- založení biopásu stanovenou směsí osiva vytvořenou z uznaného osiva nebo u druhů neuvedených v druhovém seznamu podle zákona o oběhu osiva a sadby z osiva kontrolovaného úředně nebo pod úředním dozorem podle zákona o oběhu osiva a sadby,
- výsev musí být proveden nejpozději do 24 měsíců ode dne vydání míchacího protokolu nebo osvědčení prokazujícího kvalitu osiva podle zákona o oběhu osiva a sadby,
- nejméně 50 metrů od dálnice, silnice I. nebo II. třídy nebo od dalšího biopásu v rámci příslušného dílu půdního bloku,
- po celou dobu zařazení do podopatření biopásy, nejsou aplikována hnojiva na plochu biopásu,
- zajistit krmný biopás tak, aby jeho plocha byla bez zásahu zemědělskou nebo jinou technikou. Na ploše biopásu se nesmí nacházet přejezdy zemědělské nebo jiné technikou tvořené např. vyjetými koleji. Založit krmný biopás nejpozději do 15. června příslušného kalendářního roku a ponechá vytvořený krmný biopás bez zásahu zemědělskou nebo jinou technikou do 15. března kalendářního roku následujícího po vysetí biopásu,
- druhy s povinným zastoupením ve směsi osiv v krmných biopásech (Tabulka 1),

Tabulka 1 Druhy s povinným zastoupením ve směsi osiv v krmných biopás

Druh		Minimální množství ve směsi (kg/ha)
1.	Jarní obilovina (oves setý <i>Avena sativa</i> L., Pšenice jarní <i>Triticum aestivum</i> L. nebo ječmen jarní <i>Hordeum vulgare</i> L.)	65
2.	Proso seté <i>Panicum miliaceum</i> L.	15
3.	Kapusta krmná <i>Brassica oleracea</i> L. conv. <i>acephala</i> (DC) Atof. var. <i>medullosa</i>	0,8
4.	Pohanka obecná <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	15

- druhy s volitelným zastoupením ve směsi osiv v krmných biopásech (Tabulka 2),

Tabulka 2 Druhy s volitelným zastoupením ve směsi osiv v krmných biopásech

Druh		Minimální množství ve směsi (kg/ha)
1.	Slunečnice roční <i>Helianthus annuus</i> L.	2,5
2.	Lesknice kanárská <i>Phalaris canariensis</i> L.	5
3.	Svazenka vratičolistá <i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.	5
4.	Len olejný <i>Linum usitatissimum</i> L.	20
5.	Bobovité (hrách setý polní (peluška) <i>Pisum sativum</i> L. ssp. <i>Speciosum</i> , hrách setý pravý <i>Pisum sativum</i> L. ssp. <i>Sativum</i> , nebo bob koňský polní <i>Vicia faba</i> L. var. <i>Equina</i>)	30
6.	Lupina bílá <i>Lupinus albus</i> L.	5

- založení nektarodárného biopásu směsí osiv v minimálním celkovém množství druhů ve směsi na 1 hektar, a to následovně:

a) Ve směsi osiv jsou použity minimálně 4 druhy jetelovin ze seznamu v minimálním celkovém množství ve směsi 15 kg na 1 hektar (Tabulka 3)

Tabulka 3 Jeteloviny

Druh	
1.	Jetel luční - diploidní odrůdy <i>Trifolium pratense</i> L.
2.	Komonice bílá (jednoleté i dvouleté odrůdy) <i>Melilotus albus</i> Med.
3.	Úročník bolhoj <i>Anthyllis vulneraria</i> L.
4.	Vičenec ligrus <i>Onobrychis viciaefolia</i> L.
5.	Vikev setá <i>Vicia sativa</i> L.
6.	Vojtěška setá <i>Medicago sativa</i> L.
7.	Čičorka pestrá <i>Securigera varia</i> (L.) Lassen

b) Ve směsi osiv jsou použity minimálně dva druhy plodin ze seznamu v minimálním celkovém množství 5 kg na 1 hektar a maximálním celkovém množství 7 kg na hektar. Zastoupení hořčice bílé ve směsi osiv činí maximálně 1,5 kg na 1 hektar, zastoupení svazenky vratičolisté činí maximálně 1,0 kg na 1 hektar (Tabulka 4)

Tabulka 4 Plodiny

Druh	
1.	Hořčice bílá <i>Sinapis alba</i> L.
2.	Pohanka obecná <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench
3.	Svazenka vratičolistá <i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.
4.	Slunečnice roční <i>Helianthus annuus</i> L.

c) Ve směsi osiv je použit minimálně jeden druh ze seznamu bylin v minimálním celkovém množství 2,5 kg na 1 hektar a maximálním celkovém množství 5 kg na 1 hektar (Tabulka 5).

Tabulka 5 Byliny

Druh	
1.	Kmín kořený <i>Carum carvi</i> L.
2.	Mrkev krmná <i>Daucus carota</i> L. ssp. <i>sativus</i>
3.	Sléz lesní <i>Malva sylvestris</i> L.
4.	Divizna velkokvětá <i>Verbascum densiflorum</i> Bertol.

Žadatel založený nektarodárný biopás ponechá na stejné ploše minimálně po dobu dvou, maximálně však po dobu tří po sobě následujících kalendářních let.

Z hlediska opatření AEKO v rámci projektu **nebyly** dodrženy následující podmínky podopatření biopásů s ohledem na výzkumnou povahu projektu:

- byl kombinován krmný a nektarodárný biopás na jednom DPB,
- obecně je vhodné tyto biopásky umísťovat uvnitř půdních bloků jako propojení mezi různými krajinnými prvky. Biopásky je možné umísťovat i na okraji půdních bloků, tzn. podél mezí, větrolamů, polních cest, stromořadí, remízků a lesů, kde však hrozí, že budou biopásky přejížděny zemědělskou nebo jinou technikou nebo nedojde k vzejití směsi osiva v důsledku nedostatku vláhy, slunečního záření apod. Biopás je vhodné vytvořit i na podmáčených částech DPB,
- biopás založit ve směru orby,

- zapravení porostu krmného biopásu do půdy v období od 16. března do 15. června kalendářního roku následujícího po vysetí,
- po uplynutí doby ponechání nektarodárného biopásu (dva až tři roky, viz podmínka č. 3) zapravení porostu biopásu do půdy v termínu od 16. března do 15. června,
- každoročně provádí, seč nektarodárného biopásu s odklizením pokosené hmoty v termínu od 1. července do 15. září příslušného kalendářního roku.

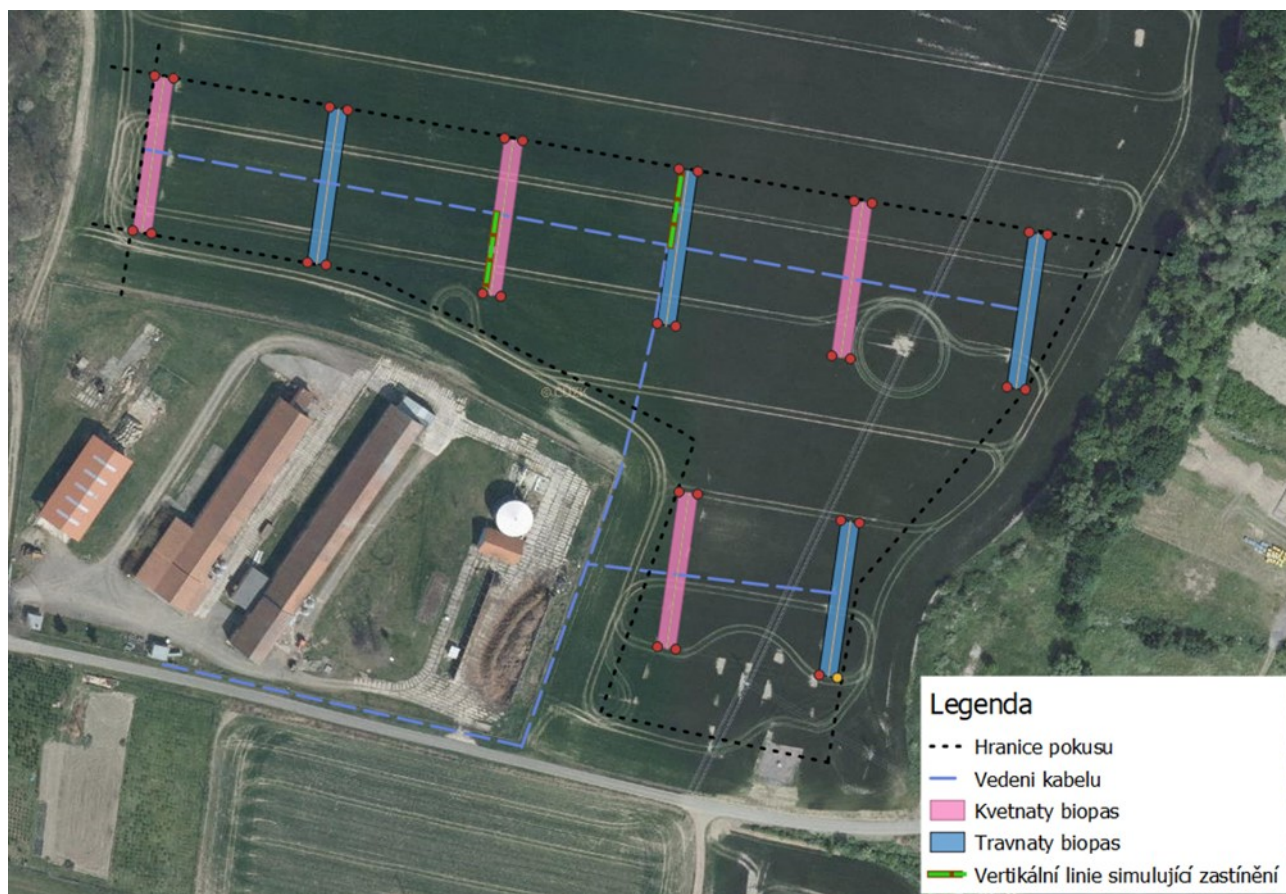
V rámci realizace projektu byla zvolena varianta umístění biopásů na DPB v minimální vzdálenosti od kraje pole 20 m, vycházející z podmínky minimálního ovlivnění měření biodiversity okolním prostředím.

4. Pokusná lokalita

V rámci projektu byla pokusná lokalita realizována na pozemku p. č. 1163, v katastru obce Zavidov, okres Rakovník, Středočeský kraj, spadající pod geomorfologickou oblast Plzeňské pahorkatiny. Pokusná lokalita byla osazena meteostanicí, která se nachází v nadmořské výšce 461 m. n.m. Souřadnice GPS jsou 50.0596197N, 13.6243542E odkaz (Seznam mapy.com, 2025). Pokusná lokalita je umístěna v nadmořské výšce přibližně 440-450 m. n.m. s průměrnou sklonitostí 5 ° z JJZ na SSV. Orientace pozemků je JJZ na SSV.

Dle podmínek AEKO bylo zvoleno samotnou realizaci zvoleno 8 biopásů, každý biopás o šířce 6 m a délce 50 m. Vzdálenost mezi jednotlivými biopásky byla zvolena 50 m. Z celkového počtu 8 biopásů byly 4 biopásky krmné a 4 biopásky nektarodárné, střídavě umístěné.

Biopás po délce byl rozdělen na dvě poloviny. Jedna polovina byla pokusná - 25m byly umístěny VBFS na kraji biopásku (dle podmínek vyjmutí ze zemědělského půdního fondu - ZPF upřesněno na 1 m od kraje biopásku) a 25 m bylo bez VBFS jako kontrola. Schéma je znázorněno na Obrázek 1.



Obrázek 1 Schéma pokusné lokality v Zavidově. (stav k 11/2022)

Zvolené směsi na základě předpokládané vhodnosti použití směsi pro VBFS. Pro nektarodárné biopásky a pro krmné směsi je uvedena v Tabulka 6.

Tabulka 6 Navržená směs druhů pro biopás s fotovoltaickým panelem dle podmínek AEKO

		výsevek	
	Druh	kg/ha	Odrůda
Krmný biopás	oves setý	65	Rertag C1
	proso seté	15	Rubikon C1
	kapusta krmná	0.8	Boma C1
	pohanka obecná	15	Kora C2
	lesklíče kanárská	15	Judita C1
	svazenka vratičolistá	5	Boratus C1
	len olejný	20	Floral C1
	hrách setý pravý	30	Eso C1
Nektarodárný biopás	jetel luční (diploidní druhy)	15	Garant c1
	úročník bolhoj	15	Atyl
	vičenec ligrus	15	
	vikev setá	15	Nukian C2
	vojtěška	15	Giula C1
	hořčice setá	1	Andromeda C1
	pohanka obecná	5	Kora C2
	svazenka vratičolistá	1	Boratus C1
	kmín kořený	3	Rekord C1

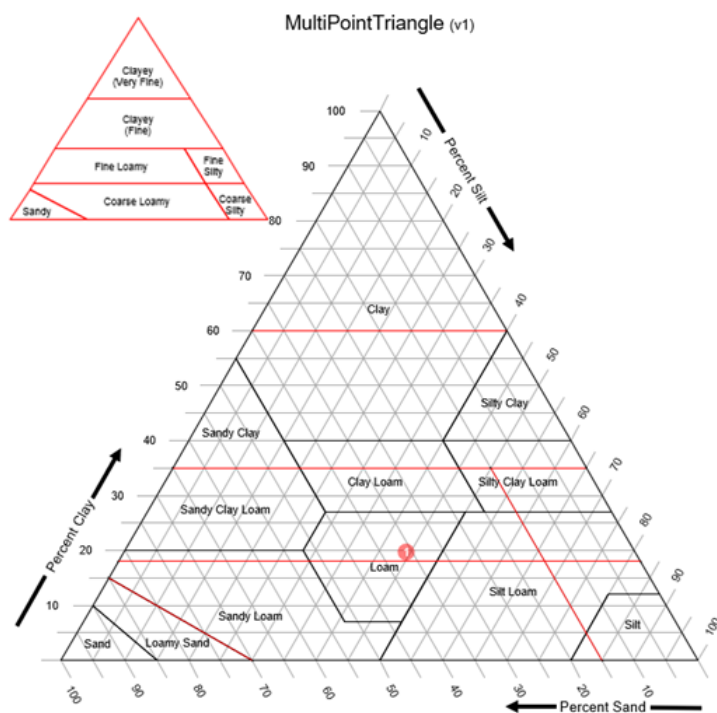
Pro setí biopásu byl použita funkční vzorek sečky TF ČZU, umožňující setí dvou různě velikých frakcí semen.

5. Půdní podmínky

Půdní podmínky mají významný vliv na veškeré operace prováděné na poli, ať z pohledu agrotechnického, tak z pohledu výstavby agrovoltaiky.

Bonita zemědělské půdy na pokusné lokalitě se nachází dle bonitovaných půdně ekologických jednotek na základě vyhlášky č. 227/2018 Sb. Ministerstva zemědělství ČR (BPEJ) - v třídě ochrany 3. a 4. Jedná se o kambizemě a pseudogleje, které jsou převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 25 %. Půdy hluboké až středně hluboké v mírně teplém, suchém klimatickém regionu a velmi málo produkční (Ekatalog BPEJ, 2024).

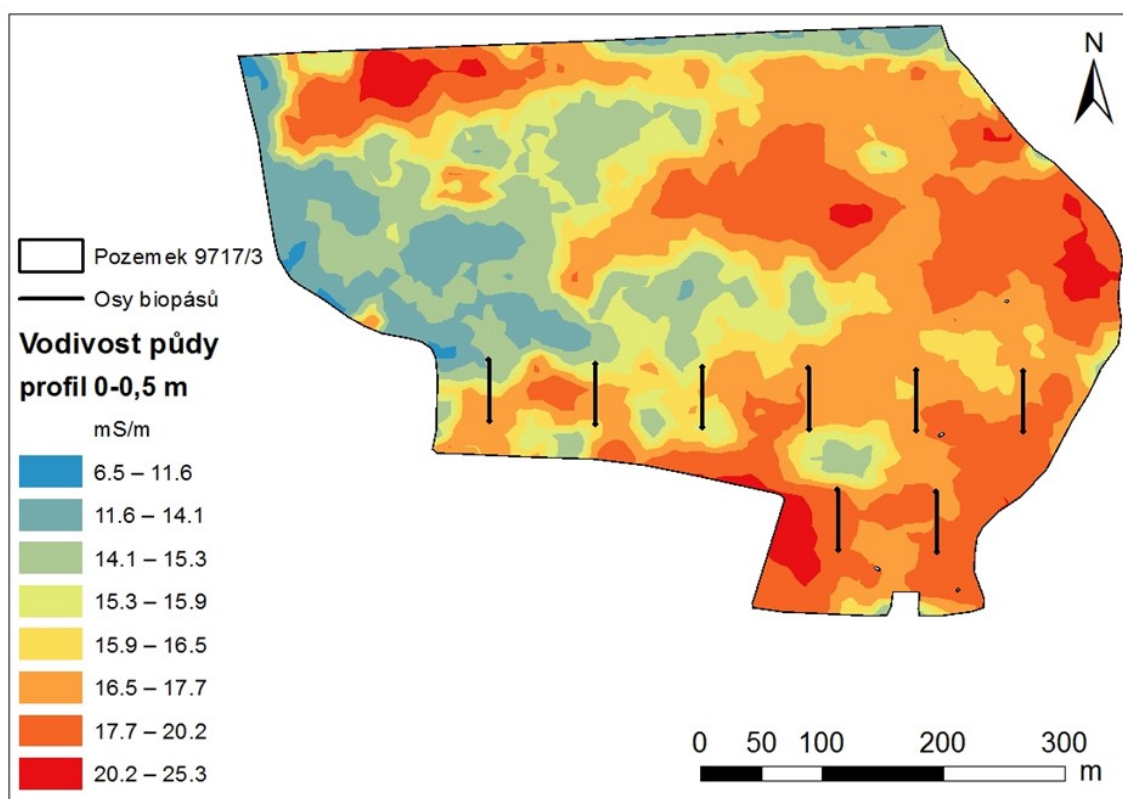
Na základě analýz velikosti částic půdy byl stanoven půdní druh jako hlinitá půda (Obrázek 2) dle metodiky USDA. Do hloubky cca. 20-30 cm.



Obrázek 2 Určení půdního druhu dle USDA soil texture calculator zdroj: [Soil Texture Calculator / Natural Resources Conservation Service](#)

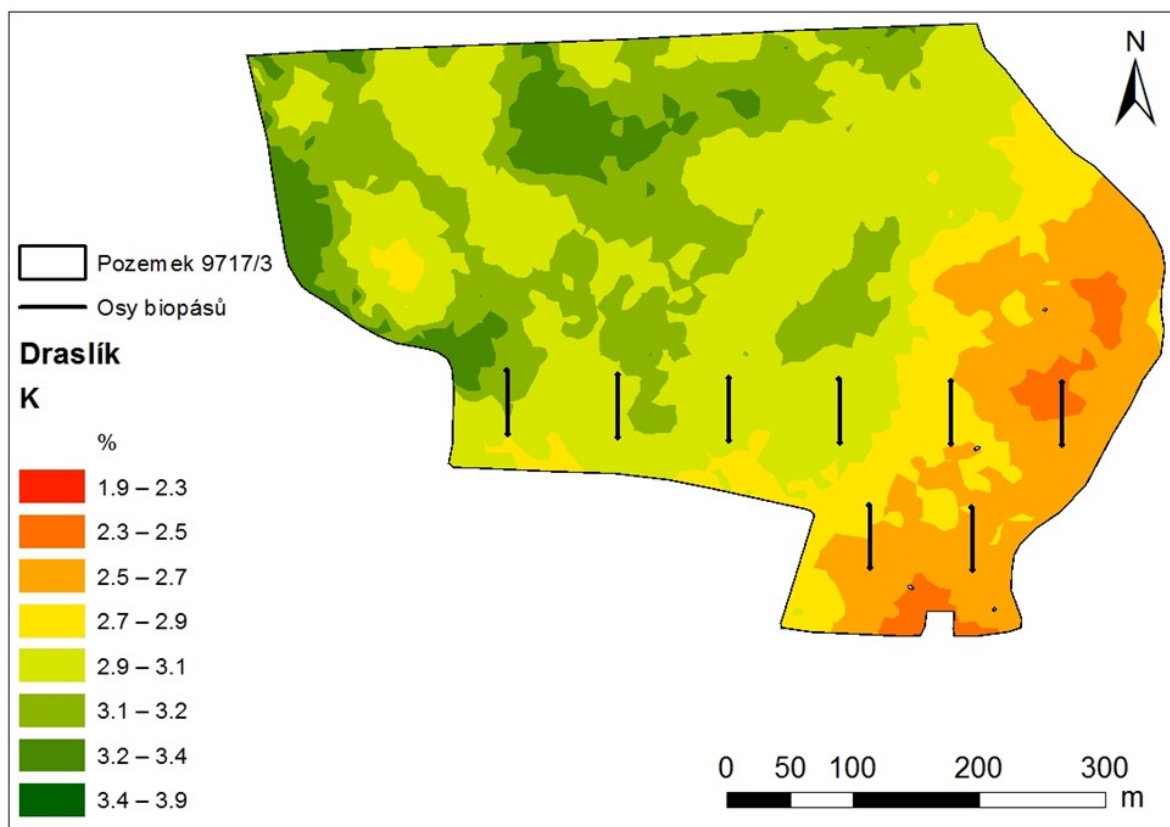
V březnu 2023 bylo provedeno mapování pozemku s využitím sondy půdní vodivosti EM-38. Tento nástroj slouží k mapování půdní heterogenity a přímou souvislost s výnosovým potenciálem. Na Obrázek 3 je patrné plošné zobrazení výsledků mapování. Z výsledku je

patrná poměrně vysoká půdní heterogenita. Údaje o pedologickém stavu lokality potvrzují analýzy porušených a neporušených půdních vzorků, které byly odebrány v průběhu sledovaných sezón. Z obrázku je dále patrná vyšší vodivost v jižní a východní části pozemku, který ukazuje na vyšší výnosový potenciál. Tento údaj zapadá i do měření výnosové mapy v sezoně 2022 a potvrzuje poněkud vyšší heterogenitu pozemku. Půdní heterogenita mapovaná nepřímou metodou měření půdní vodivosti může dále sloužit jako podklad pro přípravu plánů hnojení zejména v podmínkách variabilního hnojení.



Obrázek 3 Mapa půdní vodivosti v pokusné lokalitě Zavidov s vyznačenými biopásy a zbytkem pole v rámci půdního bloku

V rámci měření byl hodnocen i obsah draslíku (celkový) na dané lokalitě Obrázek 5. Tento parametr nehodnotí dosažitelný draslík, ale celkový obsah. Přesto toto měření ukazuje na poměrně slušné zásobení pozemku draslíkem a relativně nižší plošnou heterogenitu. Na základě tohoto měření lze konstatovat, že pozemek nevykazuje výrazný deficit draslíku v půdě a rovněž plošná heterogenita je poměrně nízká. To samozřejmě je aktuální stav a neznamená to tedy, že tato potřeba v horizontu několika let nenastane. I když obsah draslíku je relativně statický, jeho potřeba se může aktuálně výrazně měnit a rovněž půdní heterogenita může být poměrně výrazný časově proměnlivý parametr.



Obrázek 4 Mapování pozemku na celkový obsah draslíku v pokusné lokalitě Zavidov s vyznačenými biopásy a zbytkem pole v rámci půdního bloku

6. Půdní teplota a vlhkost s teplotou vzduchu nad povrchem půdy

V letech 2023 a 2024 byly na lokalitě instalovány půdní sondy zaznamenávající teplotu půdy, vzduchu a objemovou vlhkost půdy. Sledovány byly hodnoty v biopásech zastíněné vertikálními liniemi a v biopásech bez zastínění. Dále byly půdní sondy umístěny i na produkční ploše, kde byla pěstována pšenice (Tabulka 7, Tabulka 8).

Tabulka 9 jsou shrnuty průměrné měsíční hodnoty za sledované období. Z výsledků vyplývá rozdíl mezi variantami se zastíněním a bez zastínění. Biopás se zastíněním vertikálními liniemi vykazuje mírně nižší průměrné hodnoty teploty půdy a vzduchu. Vlhkost půdy je naopak mírně vyšší.

Tabulka 7 Teploty půdy vzduchu a objemová vlhkost půdy. Agrovoltaika reprezentuje průměrné hodnoty zastíněných biopásů 3 a 4. Kontrola reprezentuje průměrné hodnoty z nezastíněných biopásů 3 a 4.

Období	Průměrná teplota půdy - 10 cm, Agrovoltaika	Průměrná Teplota vzduchu +12cm, agrovoltaika	Průměrná obj. vlhkost agrovoltaika	Prům. Teplota půdy -10 cm, kontrola	Prům. teplota vzduchu +12cm, kontrola	Průměrná obj. Vlhkost, -10 cm, kontrola
Prům. 2023	11,9	12,9	23,3	12,3	13,1	20,6
Březen	4,2	4,8	31,1	4,4	4,6	29,3
Duben	7,0	6,6	34,5	7,4	6,5	33,3
Květen	12,9	13,0	23,0	13,0	13,5	19,1
Červen	15,5	17,4	17,7	16,0	17,6	13,0
Červenec	18,0	20,2	13,0	18,8	20,7	9,7
Srpen	15,7	18,0	17,1	16,4	18,1	17,8
Prům. 2024	17,0	18,4	23,1	17,2	18,6	22,6
Květen	14,6	14,9	21,6	14,7	14,7	25,4
Červen	16,7	17,8	27,9	16,7	18,1	27,6
Červenec	18,0	20,3	20,8	18,2	20,3	16,8
Srpen	18,3	20,1	21,7	18,9	20,6	21,0
Prům. celkem	13,9	15,1	23,2	14,3	15,3	21,4

Tabulka 8 Porovnání průměrných denní hodnot u květnatého biopásu (pás 3)

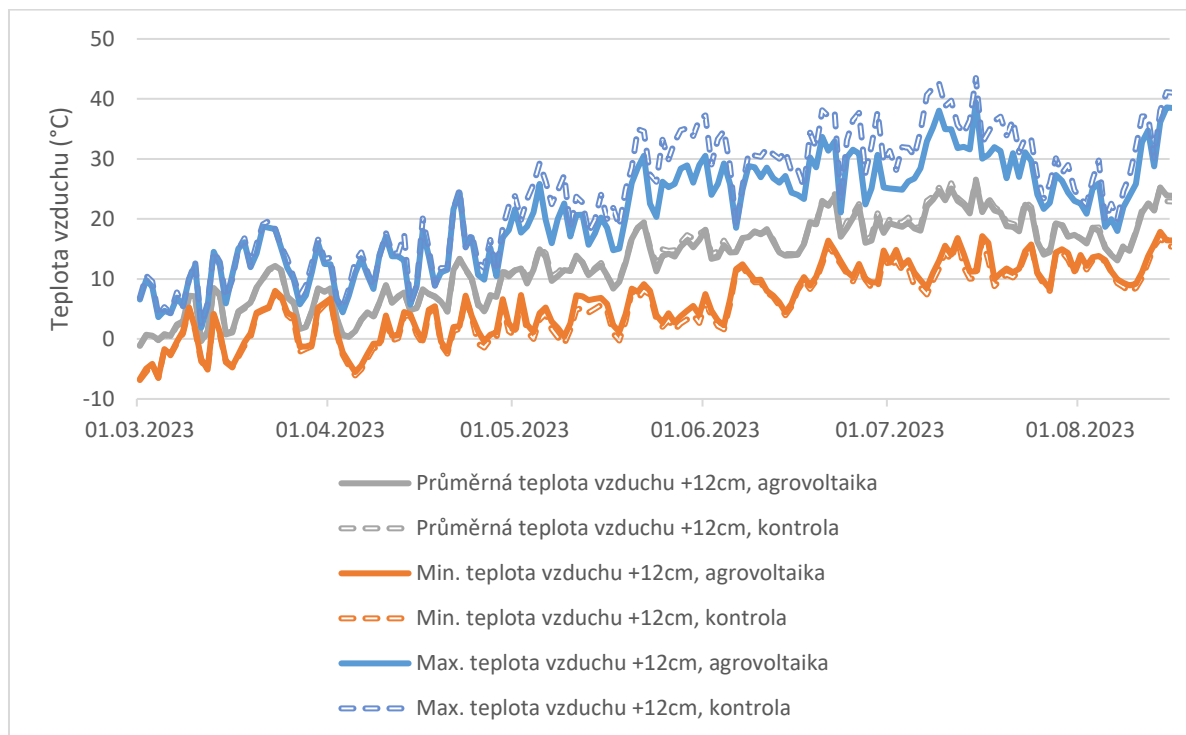
Období	Průměrná teplota půdy - 10 cm pod panely, pás 3	Průměrná teplota vzduchu pod panely, pás 3	Průměrná obj. vlhkost pod panely, pás 3	Průměrná teplota půdy -10 cm, kontrola, pás 3	Průměrná teplota vzduchu, kontrola, pás 3	Průměrná obj. Vlhkost, kontrola, pás 3
Prům. 2023	11,6	12,8	20,0	12,2	13,1	22,7
Březen	4,3	4,8	29,8	4,4	4,7	29,6
Duben	7,1	6,7	31,9	7,5	6,6	34,9
Květen	12,1	12,9	17,6	12,5	13,3	21,6
Červen	14,8	17,1	13,2	15,7	17,7	15,4
Červenec	17,5	20,2	9,5	18,8	20,8	12,6
Srpen	15,5	18,0	16,1	16,2	18,2	22,2
Prům. 2024	16,9	17,9	19,7	17,3	18,7	17,3
Květen	14,3	14,6	16,2	15,0	14,7	16,5
Červen	16,3	17,2	25,9	16,8	18,1	24,7
Červenec	18,2	19,7	17,8	18,2	20,5	13,0
Srpen	18,4	19,6	18,3	18,9	20,8	14,7
Prům. celkem	13,7	14,9	19,9	14,2	15,4	20,5

Tabulka 9 Porovnání průměrných denní hodnot u travnatého biopásu (pás 4)

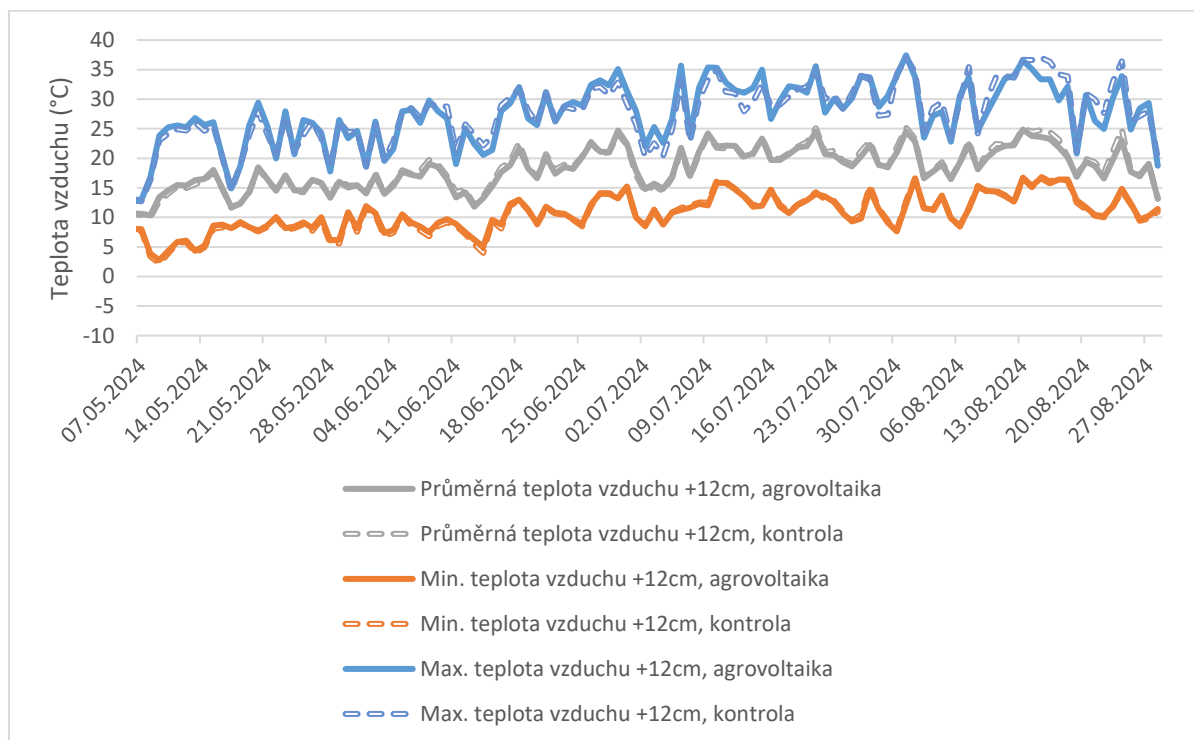
Období	Průměrná teplota půdy - 10 cm pod panely, pás 4	Průměrná teplota vzduchu pod panely, pás 4	Průměrná obj. vlhkost pod panely, pás 4	Průměrná Teplota půdy -10 cm, kontrola, pás 4	Průměrná Teplota vzduchu, kontrola, pás 4	Průměrná obj. Vlhkost, kontrola, pás 4
Prům. 2023	12,2	12,9	26,5	12,4	13,0	18,4
Březen	4,1	4,7	32,4	4,4	4,5	28,9
Duben	6,9	6,6	37,0	7,4	6,4	31,7
Květen	13,7	13,1	28,5	13,4	13,7	16,7
Červen	16,2	17,6	22,2	16,2	17,6	10,6
Červenec	18,5	20,2	16,6	18,7	20,6	6,7
Srpen	15,9	18,0	18,1	16,6	18,0	13,5
Prům. 2024	17,1	18,9	26,4	17,2	18,5	27,8
Květen	14,9	15,1	26,9	14,4	14,7	34,2
Červen	17,2	18,4	29,9	16,6	18,1	30,5
Červenec	17,8	20,8	23,7	18,3	20,2	20,7
Srpen	18,1	20,6	25,2	18,9	20,4	27,2
Prům. celkem	14,2	15,3	26,5	14,3	15,2	22,2

Na Obrázek 5 až Obrázek 10 je znázorněn průběh zaznamenaných veličin z půdních sond. Hodnoty ukazují denní průměrné hodnoty, denní maximální hodnoty a denní minimální hodnoty sledovaných veličin. Obrázek 5 a Obrázek 6 ukazují průběh teplot vzduchu ve sledovaných variantách v letech 2023 a 2024. V roce 2023 jsou patrné rozdíly v maximálních

teplotách mezi zastíněnou a nezastíněnou variantou, zatímco v roce 2024 tyto rozdíly nejsou tak výrazné. Odlišnosti lze přičíst i vlivu zastínění, které přispívá ke snížení maximálních teplot.

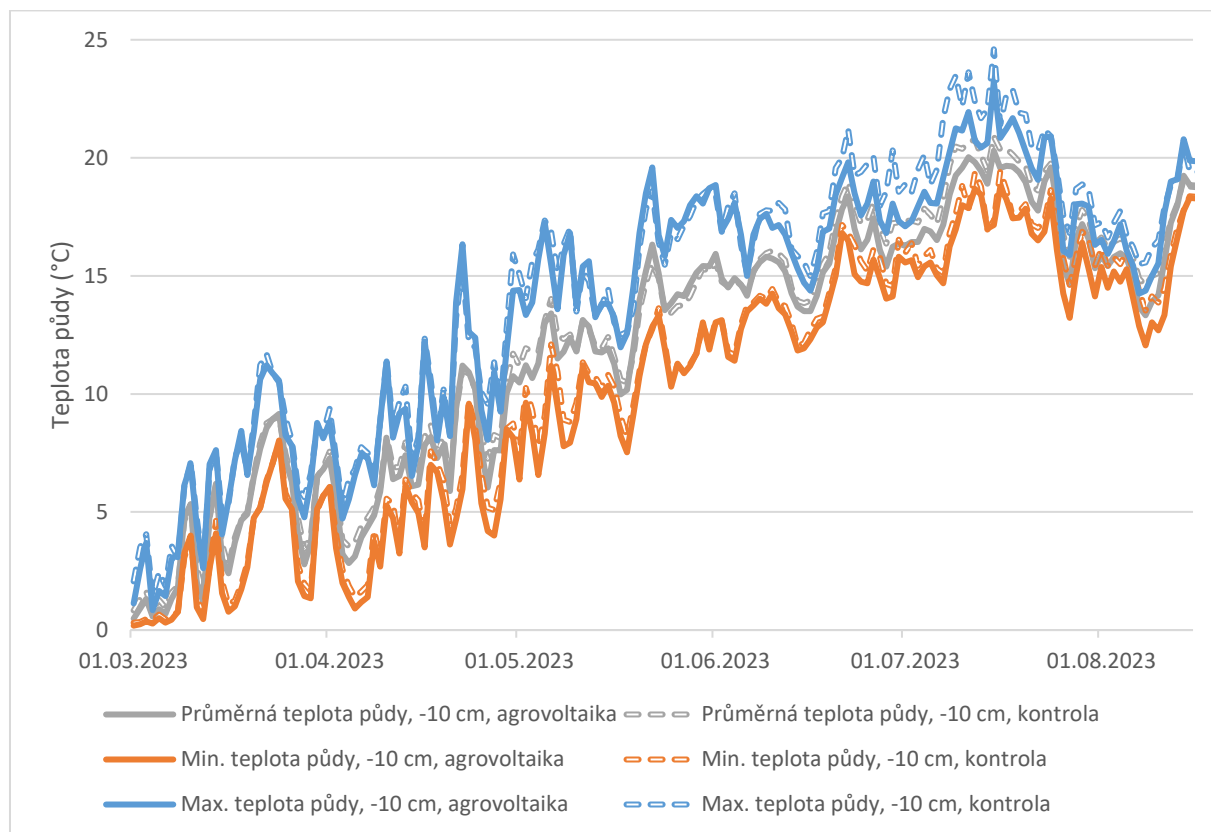


Obrázek 5 Srovnání minimálních maximálních a průměrných teplot vzduchu v roce 2023

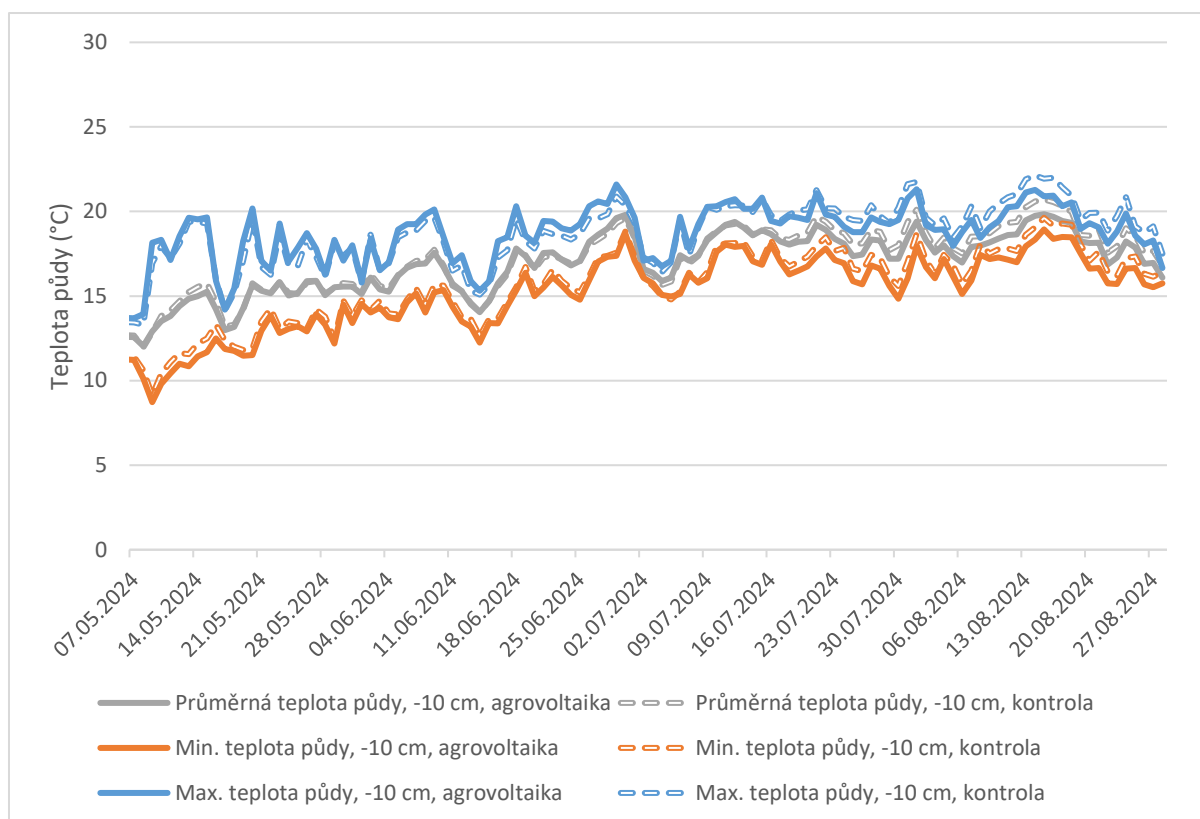


Obrázek 6 Srovnání minimálních maximálních a průměrných teplot vzduchu v roce 2024

Na Obrázek 7 a Obrázek 8 je znázorněn průběh teplot půdy ve sledovaných variantách. V obou letech jsou patrné rozdíly, zejména v maximálních teplotách během letních měsíců. Nižší průměrné teploty půdy jsou zřetelné především v horkých dnech, kdy zastínění vertikální linií přispívá ke snížení teplot. U varianty se zastíněním jsou zároveň pozorovány nižší minimální a maximální teploty půdy během letních týdnů s vysokými denními teplotami.

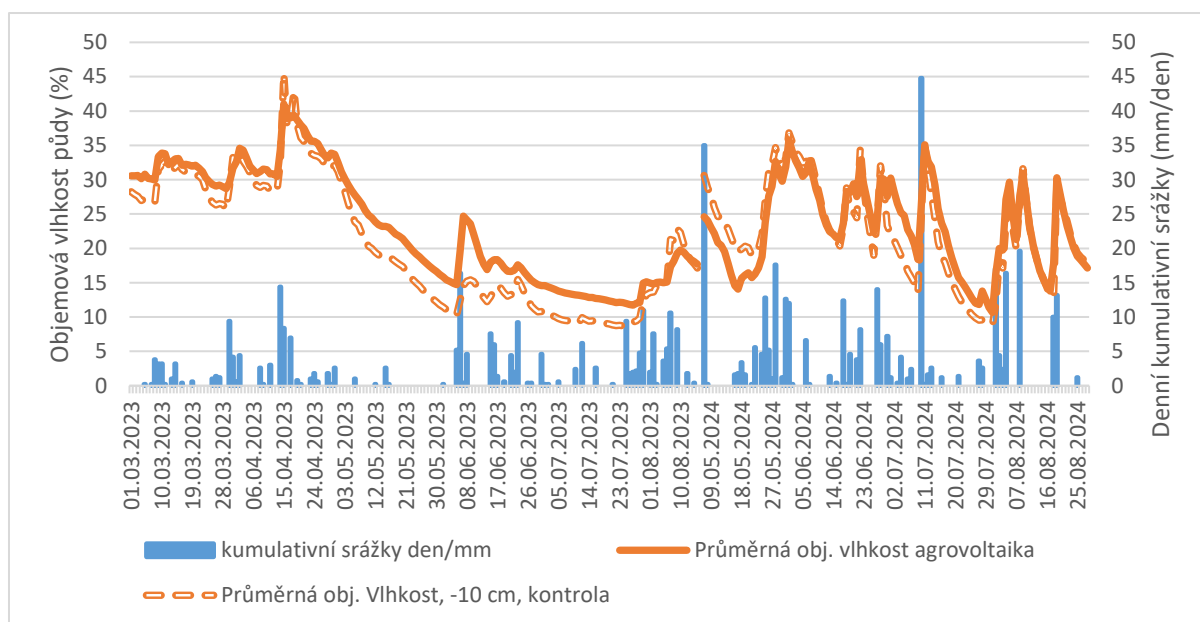


Obrázek 7 Srovnání minimálních maximálních a průměrných teplot půdy v roce 2023

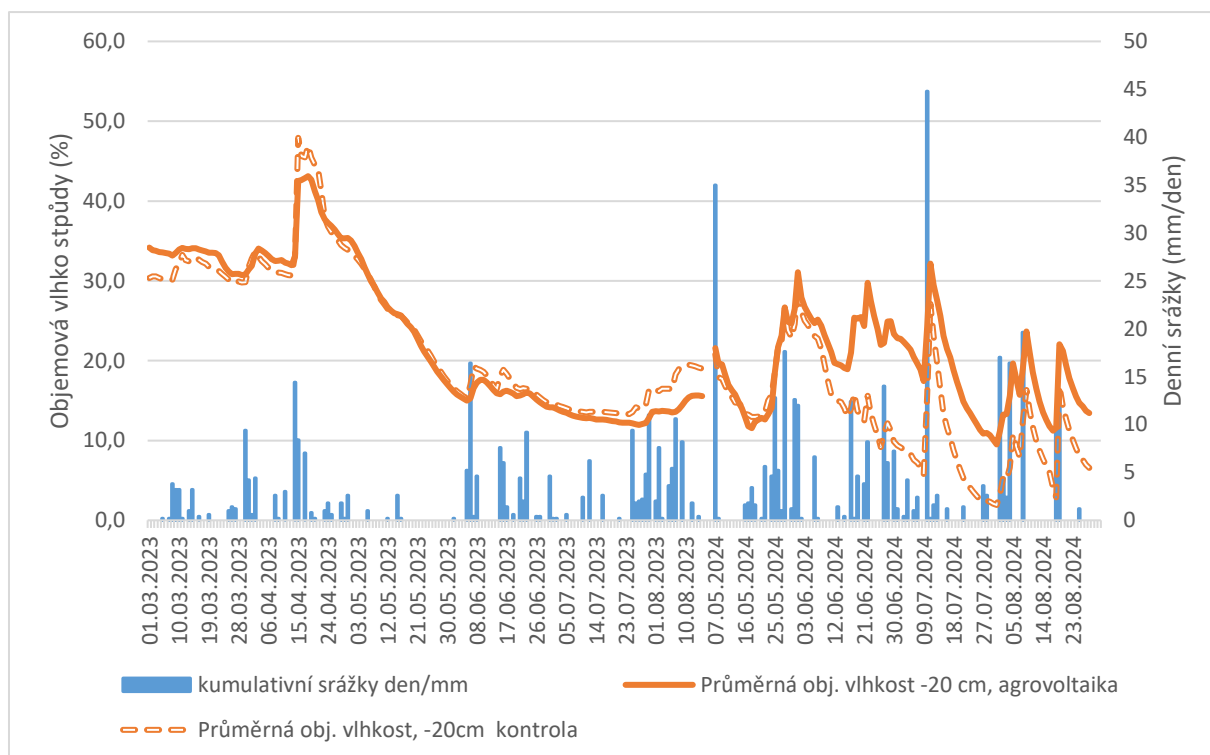


Obrázek 8 Srovnání minimálních maximálních a průměrných teplot půdy v roce 2024

Obrázek 9 a Obrázek 10 znázorňuje průměrnou objemovou vlhkost půdy u variant se zastíněním a bez zastínění v hloubce 10 cm a v hloubce 20 cm. Je patrné, že vlhkost půdy v agrovoltaické (zastíněné) variantě je většinou vyšší než v kontrolní, nezastíněné variantě, zejména v letních měsících, kdy zastínění snižuje odpařování. Modré sloupce ukazují množství srážek za jednotlivé dny. Výrazné špičky odpovídají dnům s intenzivními srážkami, což má vliv na zvýšení objemové vlhkosti půdy v obou variantách. Po větších srážkách dochází k prudkému nárůstu objemové vlhkosti půdy. V agrovoltaické variantě, zřejmě vlivem zastínění, dochází k pozvolnějšímu poklesu vlhkosti. Agrovoltaická varianta vykazuje stabilnější a vyšší vlhkost půdy během období sucha, což naznačuje pozitivní vliv zastínění na zadržování vlhkosti.



Obrázek 9 Srovnání vývoje vlhkost půdy v hloubce 10 cm v letech 2023 a 2024 a kumulativní srážky

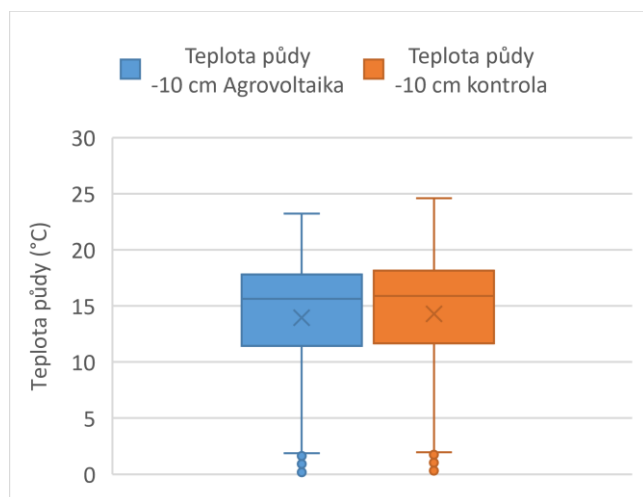


Obrázek 10 Srovnání vývoje vlhkost půdy v hloubce 20 cm v letech 2023 a 2024 a kumulativní srážky

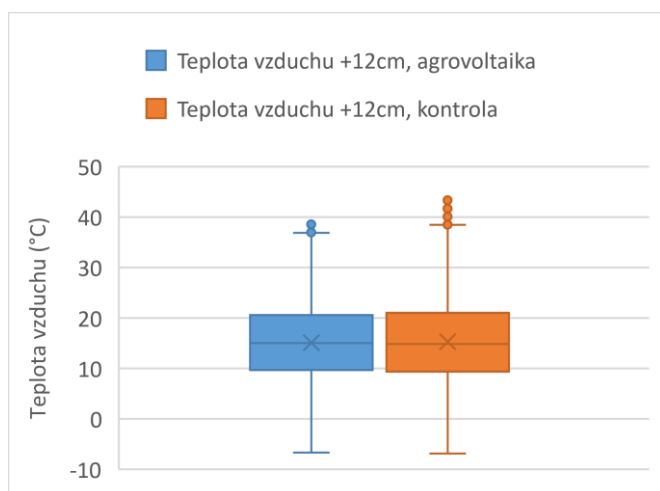
Grafy na Obrázek 11 a Obrázek 12 ilustrují vliv zastínění na teplotu a vlhkost půdy i vzduchu ve srovnání s kontrolní variantou bez zastínění. Graf na Obrázek 11 znázorňuje teplotu půdy v hloubce 10 cm. Agrovoltaiická varianta vykazuje marginální rozptyl teplot ve srovnání s kontrolní variantou, což naznačuje stabilizující vliv zastínění.

Graf na Obrázek 12 zobrazuje teplotu vzduchu. V kontrolní variantě jsou patrné vyšší hodnoty maximálních teplot i větší variabilita teplot, což může být důsledkem přímého slunečního záření. Agrovoltaiika přispívá ke stabilizaci teplot vzduchu, zejména v horkých dnech, kdy stínění snižuje maximální hodnoty.

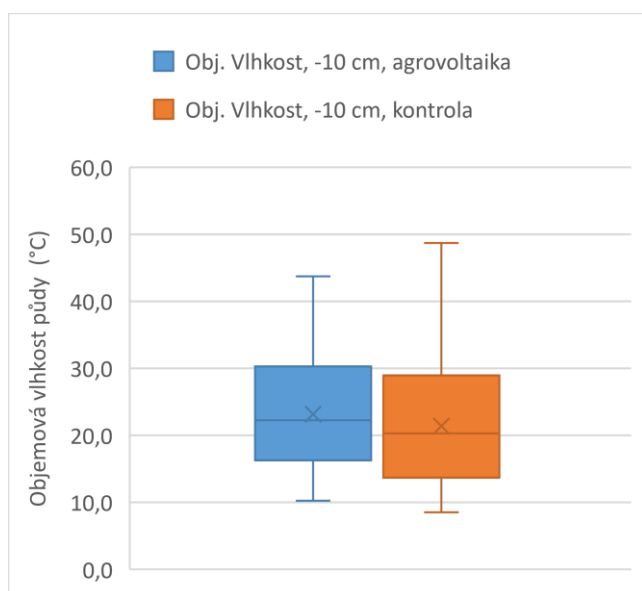
Graf na Obrázek 13 porovnává objemovou vlhkost půdy v obou variantách (hloubka 10 cm). Agrovoltaiická varianta vykazuje mírně vyšší průměrné hodnoty vlhkosti půdy a nižší rozptyl, což naznačuje schopnost stínění omezit odpařování a udržet stabilnější úroveň vlhkosti. Naopak kontrolní varianta ukazuje větší kolísání vlhkosti, pravděpodobně způsobené větším odpařováním během vysokých teplot. Podle očekávání zastínění (agrovoltaiika) přispívá ke stabilitě teplotních a vlhkostních podmínek, což má pozitivní vliv na půdní mikroklima a hospodaření s vodou.



Obrázek 11 Porovnání teplot půdy v hloubce 10 cm



Obrázek 12 Porovnání teplot vzduchu nad zemí



Obrázek 13 Porovnání objemové vlhkosti v 10 cm hloubky

7. Hodnocení kvality aplikace průmyslových hnojiv (PH – průmyslových hnojiv)

V roce 2023 bylo provedeno několik kontrolních měření za účelem ověření práce a kvality agrotechnických opatření na ploše s hlavní plodinou (pšenice ozimá).

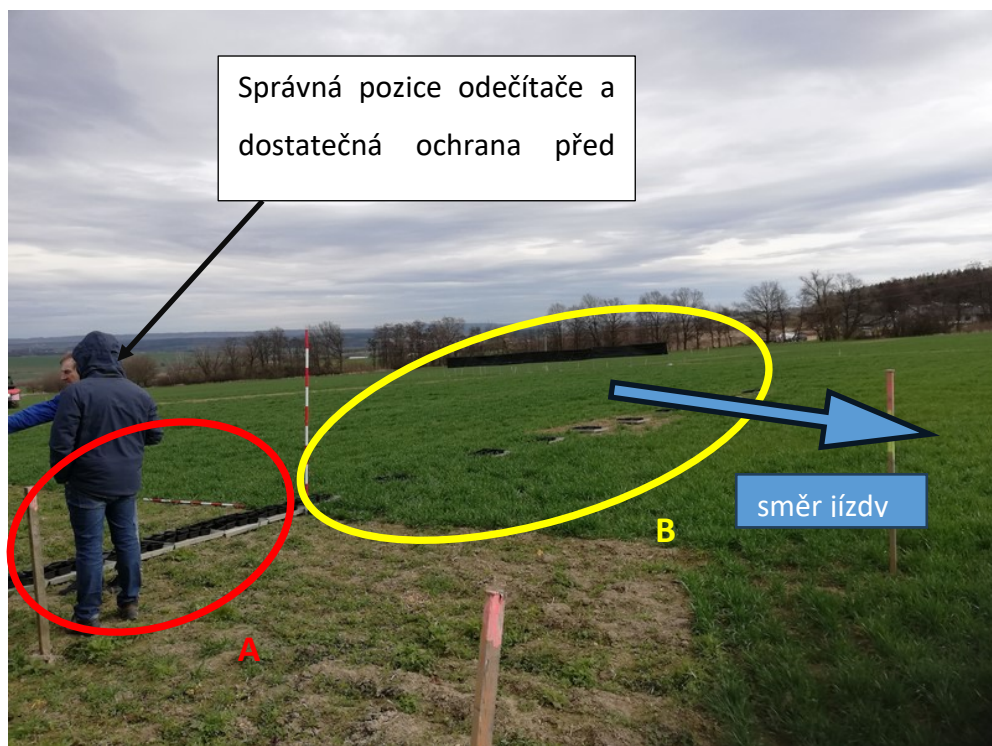
V jarním termínu zemědělských prací (23.3.2023) byl porost pšenice ozimé přihnojen granulovaným průmyslovým hnojivem (LAD 27). Aplikace byla provedena pracovní soupravou neseného rozmetadla průmyslových hnojiv v agregaci s traktorem (Obrázek 14).

Kontrola množství a rovnoměrnost aplikace granulovaného průmyslového hnojiva byla měřena pomocí nádobových sběračů.



Obrázek 14 Pracovní souprava neseného rozmetadla průmyslových hnojiv Bogballe M6W (Naložený zásobník 5,8 t, aplikace - LAD 27 (ledek dolomitický), nastavený záběr rozmetání 30 m) v agregaci s kolovým traktorem Massey Ferguson 8737 DYNATractor (dotížení přední nápravy – 1800 kg)

Metodika měření aplikace granulovaného hnojiva LAD 27 spočívala v liniovém umístění odběrných misek kolmo na vertikální konstrukce simulující agrovoltaiku a též kolmo na kolejové řádky v celé šíři pásu plodiny hlavní a též celé šířky biopásu (Obrázek 15 a Obrázek 16). Zobrazení odběrných misek uvádí Obrázek 17. A to z důvodu sledování výnosu těchto založených porostů a následnou interpretaci různých vlivů, tedy vlivu samotného biopásu a samotné plochy plodiny hlavní bez zastínění konstrukcí agrovoltaické části (Obrázek 18 a Obrázek 19), tak i vlivy vzniklé na pokusech s konstrukcí, simulující agrovoltaiku (Obrázek 20).



Obrázek 15 Rozmístění odběrných misek pro stanovení množství průmyslových hnojiv na testovaném pozemku (Zavidov – 23.3.2023), A – detailní sledování na biopásech, B – dle metodiky odpovídající standardu pro testování kvality hlavní plodiny)



Obrázek 16 Rozmístění odběrných misek pro stanovení množství průmyslových hnojiv na testovaném pozemku (Zavidov – 23.3.2023)



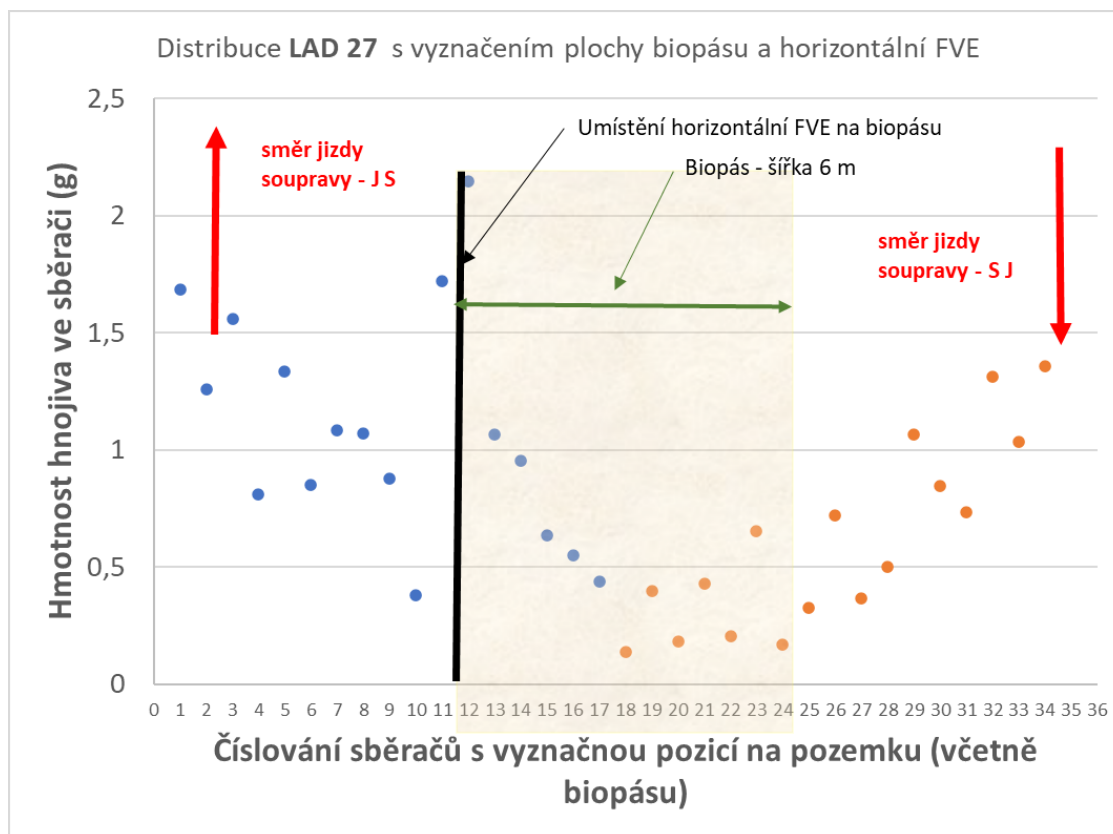
Obrázek 17 Pořízení kontrolní fotodokumentace odběrových misek před vlastním vážením vzorků



Obrázek 18 Vizuelní kontrola aplikace PH v porostu hlavní plodiny, též náhled růstové fáze plodiny při aplikaci PH



Obrázek 19 Vizuelní kontrola aplikace PH v porostu biopásu č.4 , též náhled růstové fáze biopásu při aplikaci PH

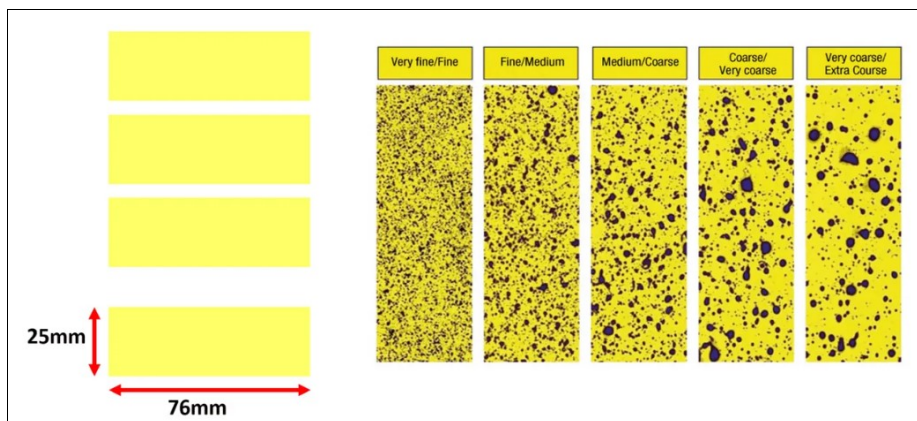


Obrázek 20 Distribuce průmyslového hnojiva při aplikaci z obou směrů, tedy při první jízdě Jih – Sever a zpět Sever – Jih, na plodinu hlavní a v ploše biopásu. Sběrač se skládal z osmi misek (rozměr jedné misky - 12 x 17 cm, $s = 204 \text{ cm}^2$, celková plocha sběrače osmi misek – 1632 cm^2)

Během měření byla zaznamenána provozní data z mobilní jednotky. Na pokusné parcele bylo zpracováno 4,88 ha. Na této pokusné parcele bylo aplikováno 0,44 t hnojiva (plná nádoba – 5,54 t, hmotnost nádoby – 5,1 t po aplikaci) spotřebováno 11,26 l motorové nafty. Průměrná pracovní rychlost soupravy činila v mezi-pásech $12,1 \text{ km.h}^{-1}$, nastavená dávka aplikátoru 200 kg.ha^{-1} odpovídala množství hnojiva vážených v miskách. Z nádobových pokusů distribuce je zřejmé, že průmyslová hnojiva byla aplikována i na biopás. Z jízdy zpět, kdy nebyl při aplikaci vliv horizontální konstrukcí simulace agrovoltaiky, odpovídala distribuce hnojiva tomuto aplikátoru. Tedy k pozici pracovního záběru se tato dávka snižuje. Distribuce hnojiv ve směru JS – jih sever, kdy byl na rozhraní biopásu a hlavní plodiny zřetelný vliv odrazu hnojiv od plochy tkaniny simulující konstrukce agrovoltaiky.

8. Hodnocení kvality aplikace prostředků na ochranu rostlin (POR – prostředků na ochranu rostlin)

Při dalším agrotechnickém zásahu (26.4.2023), aplikaci kapalných prostředků ochrany rostlin (POR) na hlavní plodinu pomocí návěsného aplikátoru HORSCH LEEB s délkou ramen 30 m v agregaci s traktorem Masey Fergusson 8732, byla obdobně jako u předchozí aplikace zjišťována kvalita a distribuce těchto kapalných POR. Složení POR byla kombinace hnojiv (Folit P 500 SL - dávka 1 l.ha-1, Lexin - dávka 0,4 l.ha-1, Liste komplex obiloviny SL - dávka 1 l.ha-1) s adjuvancem Šaman 0,4 l.ha-1 a herbicidem Corello 0,125 kg.ha-1. Při této aplikaci je nežádoucí, aby se aplikovaná kapalina dostala na plochu biopásu. Metodika měření distribuce POR spočívala v rozmístění WSP papírků kolmo na kolejové řádky do prostoru k biopásu v obou směrech. WSP (zkratka „water sensitive papers“) jsou odběrové vzorky pro analýzu distribuce kapalin. Tyto papírky reagují zbarvením do modré barvy při styku s kapalinou. Z následné okamžité vizuální analýzy je zřejmá zasažená plocha a též velikost kapek, která je důležitá pro posuzování míry účinnosti (Obrázek 21). Způsob měření je následně zdokumentován (Obrázek 22, Obrázek 23, Obrázek 24, Obrázek 25, Obrázek 26, Obrázek 27). Měření prokázalo, že biopásy nebyly postříkány a zasaženy Obrázek 26.



Obrázek 21 Základní rozměry WSP od výrobce Syngenta a příklady vyhodnocení aplikace POR od výrobce Syngenta. Rozměr – 76 mm x 25 mm



Obrázek 22 Rozmístění WSP na kovových profilech na sledovaném pozemku v biopásu a u plodiny hlavní – při jízdě jih – sever, termín aplikace –26.04.2023



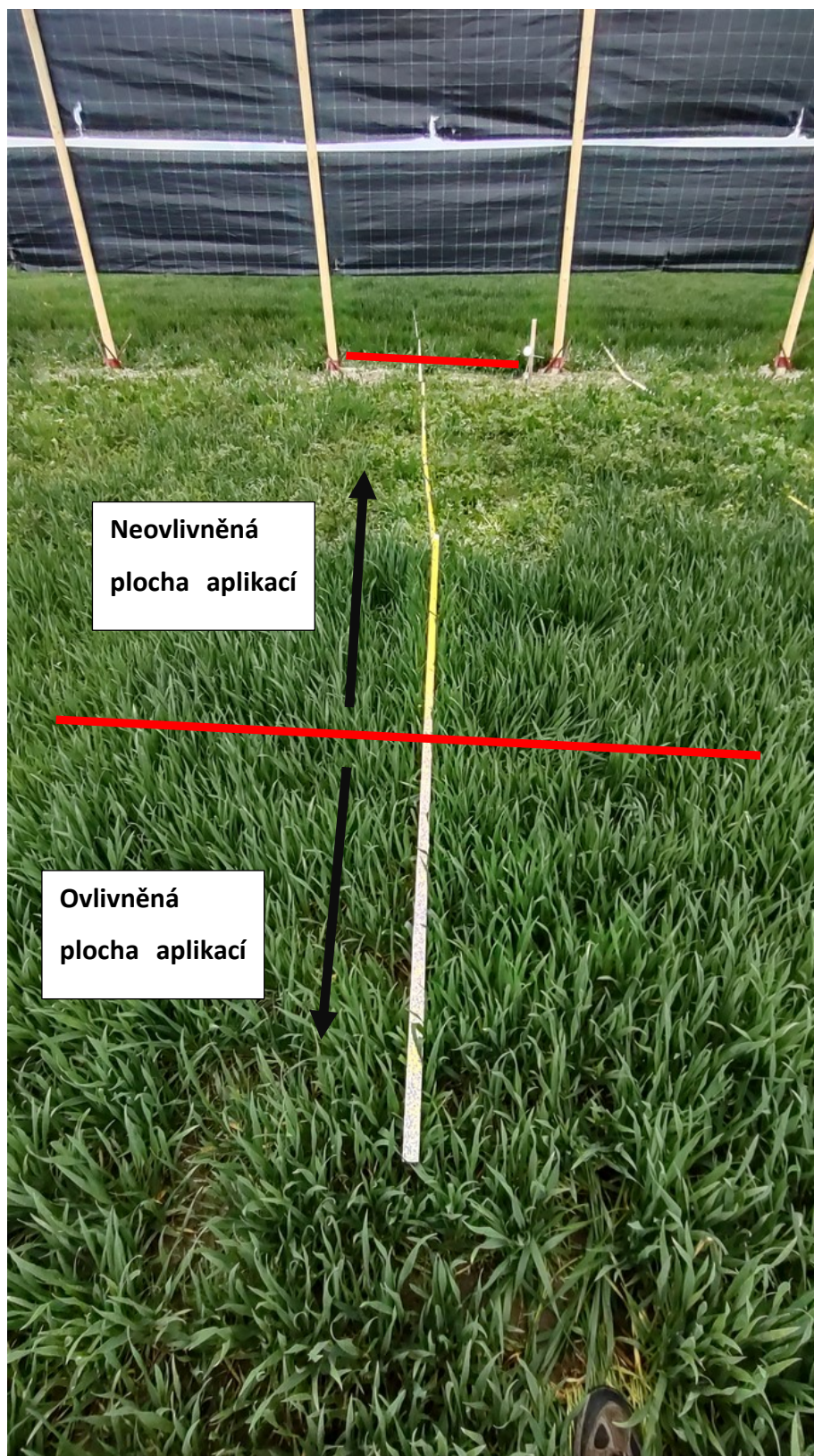
Obrázek 23 Rozmístění WSP na kovových profilech na sledovaném pozemku v biopásu a u plodiny hlavní – při jízdě sever – jih



Obrázek 24 Kontrolní fotodokumentace WSP po aplikaci POR na ploše biopásu – porost nebyl ovlivněn POR



Obrázek 25 Kontrolní fotodokumentace WSP a distribuce POR na ploše hlavní plodiny včetně vývojového růstu a stavu plodiny hlavní



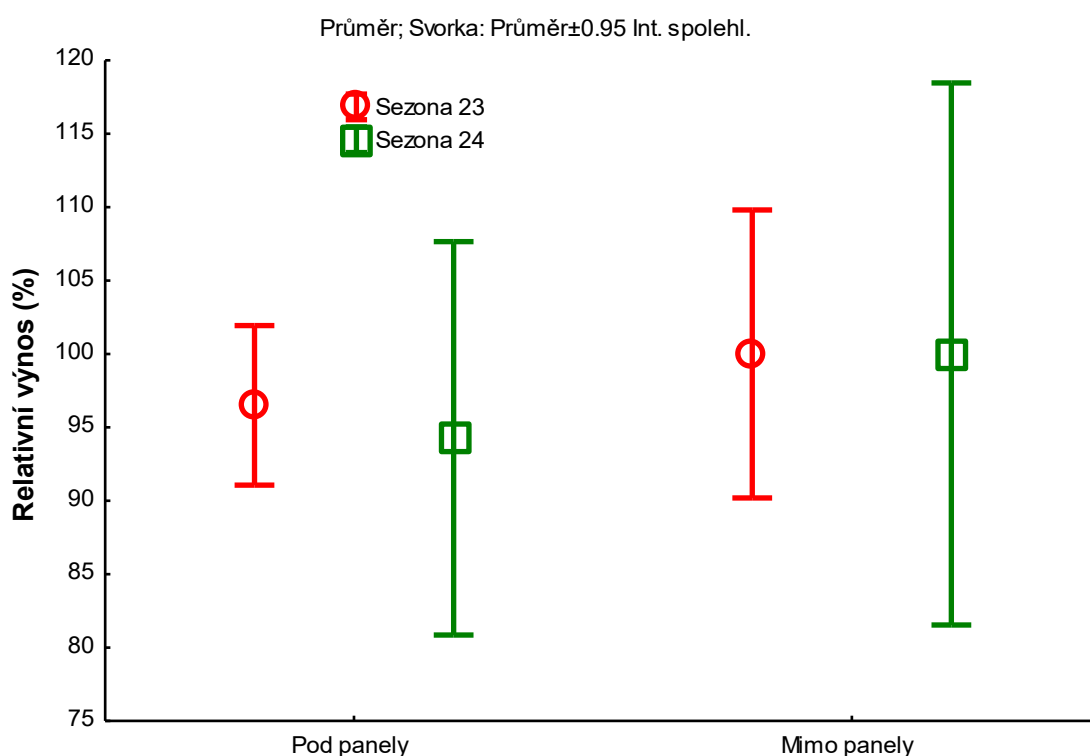
Obrázek 26 Přechodová část aplikace POR v porostu hlavní plodiny



Obrázek 27 Detailní zobrazení - přechodová část aplikace POR v porostu hlavní plodiny

9. Výnos hlavní plodiny - obiloviny

V obou sledovaných sezonách 2023 a 2024 se jednalo o pšenici ozimou. Rovněž byla zachována standardní agrotechnika pro konvenční pěstování, úroveň hnojení a chemické ochrany, drobné korelace byly pouze v termínech operací vlivem počasí. Výnos byl měřen jak metodou odběru vzorků z určené plochy, tak s pomocí výnosového čidla. Na následujícím grafu je shrnutí výnosových dat z obou sezón. Z grafu je patrný velmi nízký vliv částečného zastínění simulací na výnos hlavní plodiny- ozimé pšenice. Došlo sice k nepatrnému snížení výnosu v řádech jednotek procent, avšak rozdíl je daleko pod statistickou významností (Obrázek 28).



Obrázek 28 Srovnání výnosů hlavní plodiny (pšenice ozimé) na kontrolní a pokusné variantě v Zavidově za rok 2023 a 2024

Zde je třeba podotknout, že výsledky mohou být ovlivněny volbou polohy biopásu vůči instalaci. V případě dominantního vlivu jedné strany lze přistoupit k schématu, kdy se (v souladu a aktuálními předpisy pro trvání biopásů) použije odlišná doba trvání biopásu z každé strany instalace, což sníží vliv na výnos hlavní plodiny. Je třeba konstatovat, že toto řešení povede k nižšímu výnosu biomasy z rostlin biopásu. Nicméně dle aktuální legislativy toto řešení není v rozporu s prováděcí praxí.

10. Sledování biodiverzity

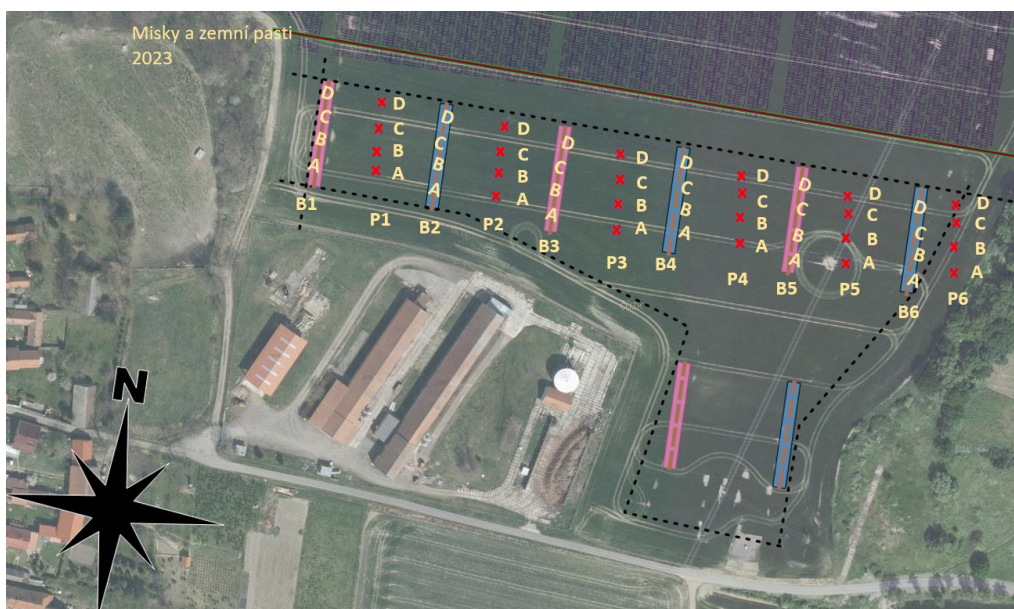
Biodiverzita členovců i rostlin byla na pokusném pozemku sledována s cílem zjistit vliv VBFS v kombinaci s biopásy na biodiverzitu. Měření pokryla celou sezónu, přičemž načasování jednotlivých termínů odběrů bylo ovlivněno agrotechnickými postupy nutnými pro údržbu porostu hlavní plodiny (pšenice setá) i biopásů, a povětrnostními podmínkami. Měření se směřovalo ke sběru a zpracování dat z porostu plodiny, dvou různých druhů biopásů, nektarodárných a krmných, a v biopásech se simulacemi fotovolatické elektrárny.

Biodiverzita rostlin byla zkoumána pomocí vegetačního snímkování, biodiverzita různých skupin členovců pak pomocí metody smýkání, zemních pastí a barevných misek na odchyt opylovačů. Stanoviště byla rozmístěna v šesti transektech v biopásech (B1-B6) a v šesti kontrolních transektech v porostu plodin (P1-P6) (Obrázek 29 a Obrázek 30). Transekt pro odběry metodou zemních pastí a barevných misek sestával ze čtyř odběrových míst A-D (Obrázek 29). Biodiverzita členovců aktivních po povrchu půdy byla zkoumána za pomoci zemních pastí. Celkem bylo na lokalitě zakopáno 48 zemních pastí (průměr ústí pasti 7 cm). Pasti byly otevřeny vždy po dobu 7 dnů. Jako fixační roztok byl použit roztok slané vody (50 g NaCl na 1 litr vody + kapka bezzápachového mycího prostředku). Opylovači a další členovci byli monitorováni pomocí metody barevných misek. Ta sestávala ze tří druhů misek – bílá, modrá, žlutá (velikost misky v průměru 10 cm, výška 5 cm a objemu 350 ml), jelikož různé druhy opylovačů reagují na různé barvy spektra. Aby byly misky atraktivní pro hmyz, byly nastříkány barvou ve spreji Montana UV effect (Montana Colors, Španělsko) viditelnou i v UV spektru. Trojice různobarevných misek byla připevněna na dřevěnou tyč do výšky porostu (Obrázek 31). Výška jejich umístění se tak lišila v průběhu roku v závislosti na výšce porostu. Biodiverzita členovců žijících na povrchu rostlin byla zkoumána pomocí smýkání. Metoda smýkání byla prováděna v transektu po 20 smycích (Obrázek 30).

Celkově tak bylo provedeno 24 sérií smyků během jednoho termínu odběru. Ve vzorcích byl sumarizován počet zástupců jednotlivých zájmových skupin. Jednotlivé zájmové skupiny z jednotlivých metod jsou uvedeny v (Tabulka 10).

Biodiverzita plevelů byla měřena za pomoci fytocenologických snímků. Velikost snímku byla stanovena na 0,1 m². Ve snímcích bylo zjišťováno kvalitativní druhové složení plevelového spektra. Kvantitativní stanovení jednotlivých populací plevelů bylo vyjádřeno počtem jedinců ve fytocenologickém snímku. Výběr umístění snímků byl proveden rovnoměrně po celé

sledované ploše biopásu a zároveň v porostu plodiny, aby bylo pokryto celé spektrum plevelů na studovaných plochách. V každém biopásu a zároveň v každé kontrole bylo provedeno 8 fytocenologických snímků, Celkem bylo v jednom termínu provedeno 96 fytocenologických snímků.



Obrázek 29 Mapa odběrových míst v roce 2023 pro metodu zemních pastí a barevných misek. Růžově značené jsou nektarodárné biopásy. Modře jsou vyznačeny krmné biopásy. Transektory B1-B6 jsou transektory s vyšetřným biopásem, P1-P6 pak značí kontrolní transektory uvnitř porostu



Obrázek 30 Mapa odběrových míst v roce 2023 pro metodu smýkání. Růžově značené jsou nektarodárné biopásy. Modře jsou vyznačeny krmné biopásy. Transektory B1-B6 jsou transektory s vyšetřným biopásem, P1-P6 pak značí kontrolní transektory uvnitř porostu



Obrázek 31 Barevné misky. Vzájemné uspořádání misek bylo znáhodněno, aby nedocházelo k ovlivnění

Tabulka 10 Přehled monitorovaných taxonomických skupin

Metoda	Taxonomické skupiny
zemní pasti	pavouci, drabčící, suchozemští stejnonožci, mnohonožky, stonožky, plži, mrchožrouti, mravenci, žížaly, střevlíci, nosatci, slunéčka, mšice, střevlíci (larvy), ploštice, škvoři, křísi, brouci (ostatní)
smýkání	mšice, mšice (mumie), křísi, housenky, třásněnky, ploštice, kohoutci (larva), kohoutci (dospělec), nosatci, slunéčka (larva), slunéčka (dospělec), pestřenky (larva), pestřenky (dospělec), zlatoočka (larva), zlatoočka (dospělec), pavouci, parazitoidi, mouchy, ostatní brouci, pisivky
barevné misky	včela medonosná, včely ostatní, čmeláci, pestřenky (dospělec), mouchy, motýli, pavouci, třásněnky, mšice, křísi, parazitoidi, zlatoočka (dospělec), ploštice, blýskáčci, kohoutci (dospělci), nosatci, ostatní brouci, drabčící, páteříčci, slunéčka (dospělci), slunéčka (larva), vosy, ostatní

Celkem bylo nalezeno 90 800 jedinců ze sledovaných skupin bezobratlých. V zemních pastech bylo nalezeno 13 596 jedinců, pomocí smyků bylo odchyceno 13 665 jedinců a dalších 63 539 jedinců bylo odchyceno barevnými miskami. V zemních pastech převládali pavouci (Araneae), střevlíci (Carabidae), drabčící (Staphylinidae), další čeledi brouků celkem (Coleoptera) a ploštice (Heteroptera) (Tabulka 11). Nejčastějšími skupinami zachycenými pomocí smýkání byli dvoukřídlí (Diptera) mimo pestřenek (Syrphidae), mšice (Aphidoidea), brouci, ploštice,

pavouci a v menší míře i křísi (Auchenorrhyncha), pestřenky a parazitičtí blanokřídlí (Hymenoptera: Parasitica) (Tabulka 11). Nejčastějšími skupinami zachycenými pomocí smýkání byli dvoukřídlí (Diptera mimo Syrphidae), mšice (Aphidoidea), brouci, ploštice, pavouci a v menší míře i křísi (Auchenorrhyncha), pestřenky (Syrphidae) a parazitičtí blanokřídlí (Hymenoptera: Parasitica) (Tabulka 11). Barevné misky byly dominantně obsazeny lesknáčky (Nitidulidae; zejména *Brassicogethes* spp.), těsně následováni dvoukřídlými (Tabulka 11). Další hojné skupiny pak zahrnovaly pestřenky, mšice, samotářské včely (Aculeata) a včela medonosná (*Apis mellifera*) (Tabulka 11). Zbývající taxonomické skupiny byly mnohem méně početné a žádné ze sledovaných skupin nedosahovala 2 % celkového odchyty (Tabulka 13).

Tabulka 11 Výsledky zobecněných lineárních modelů (GLM, quasipoisson) pro nejhojnější skupiny členovců a tři různá vyhodnocení. Model 1: Početnost ~ stanoviště (plodina vs. biopás); Model 2: početnost ~ typ pásu (krmný vs. nektarodárný pás); a Model 3: Početnost ~ simulace(simulace VBFS přítomna vs. nepřítomna). Byly analyzovány pouze skupiny zahrnující alespoň 2 % odchycených jedinců danou metodou.

Znaky < > ukazují, že abundance se průkazně lišila v rámci srovnání na hladině významnosti $\alpha=0.05$, a směr znamének odkazuje na charakter rozdílu. Např. < v případě Modelu 1 ukazuje, že průkazně více jedinců bylo odchyceno v biopáse než v porostu plodiny.

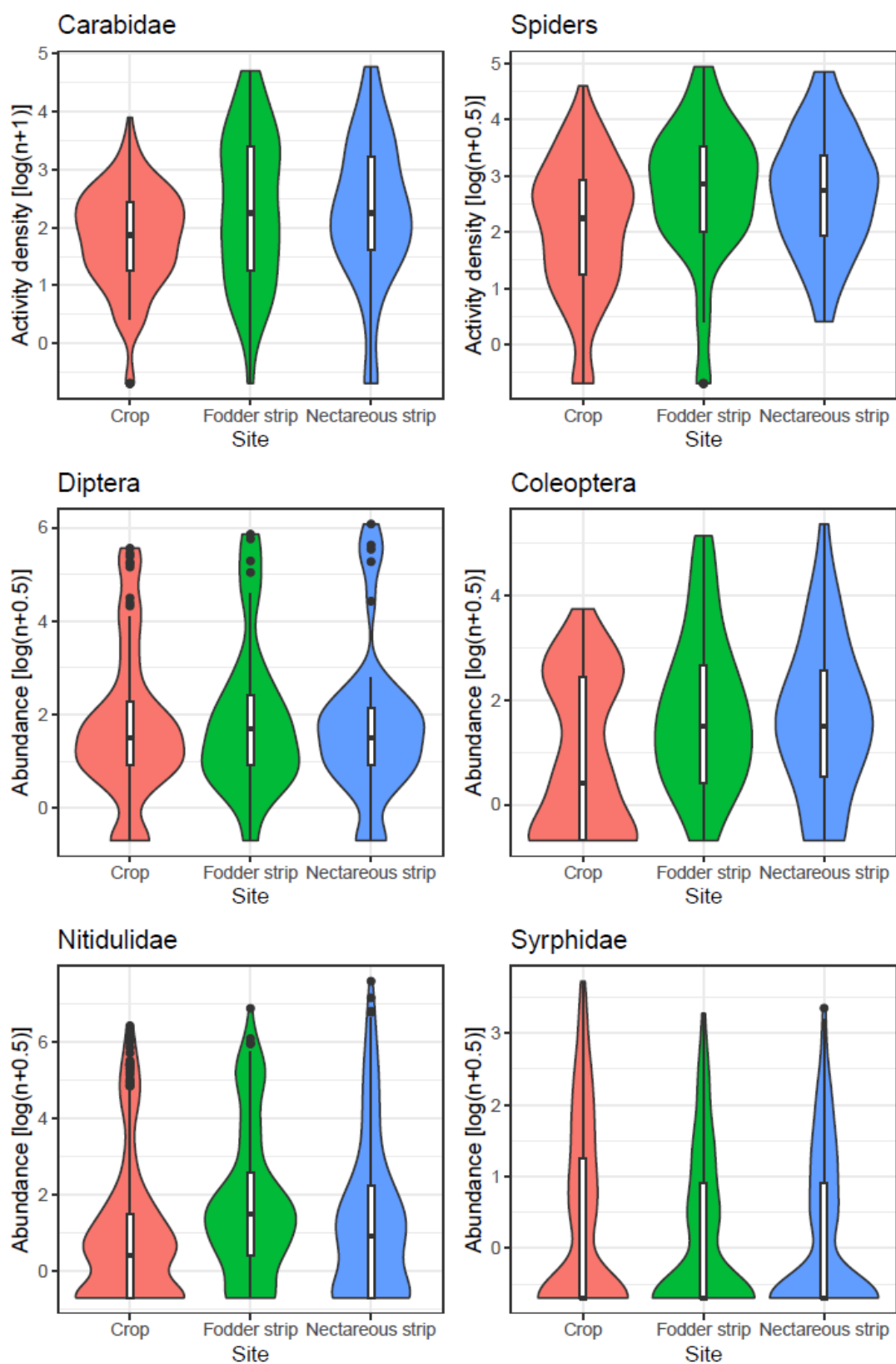
Metoda sběru	N	Model 1	Model 2	Model 3
Taxon		Plodina vs. Biopás	Krmný vs. nektarodárný pás	Kontrola vs. Simulace
Zemní pasti				
Araneae	6.594	<	NS	NS
Carabidae	4.604	<	NS	NS
Staphylinidae	924	<	NS	NS
Coleoptera ¹⁾	511	<	NS	NS
Heteroptera	324	<	NS	NS
Smýkání				
Diptera ²⁾	4.854	NS	NS	NS
Aphidoidea	3.971	NS	NS	NS
Coleoptera	1.914	<	NS	NS
Heteroptera	1.096	<	NS	NS
Araneae	767	NS	NS	NS
Auchenorrhyncha	375	NS	NS	NS
Syrphidae	324	<	NS	NS
Parasitica ³⁾	323	NS	NS	NS
Barevné misky				
Nitidulidae	27.087	<	NS	<
Diptera ²⁾	25.995	NS	NS	NS
Syrphidae	1.840	>	NS	NS
Aphidoidea	1.624	NS	>	<
Aculeata ⁴⁾	1.354	<	NS	NS
Apis mellifera	1.236	<	NS	NS

¹⁾ kromě Carabidae a Staphylinidae; ²⁾ kromě Syrphidae; ³⁾ blanokřídlí parazitoidi; ⁴⁾ kromě Apis mellifera

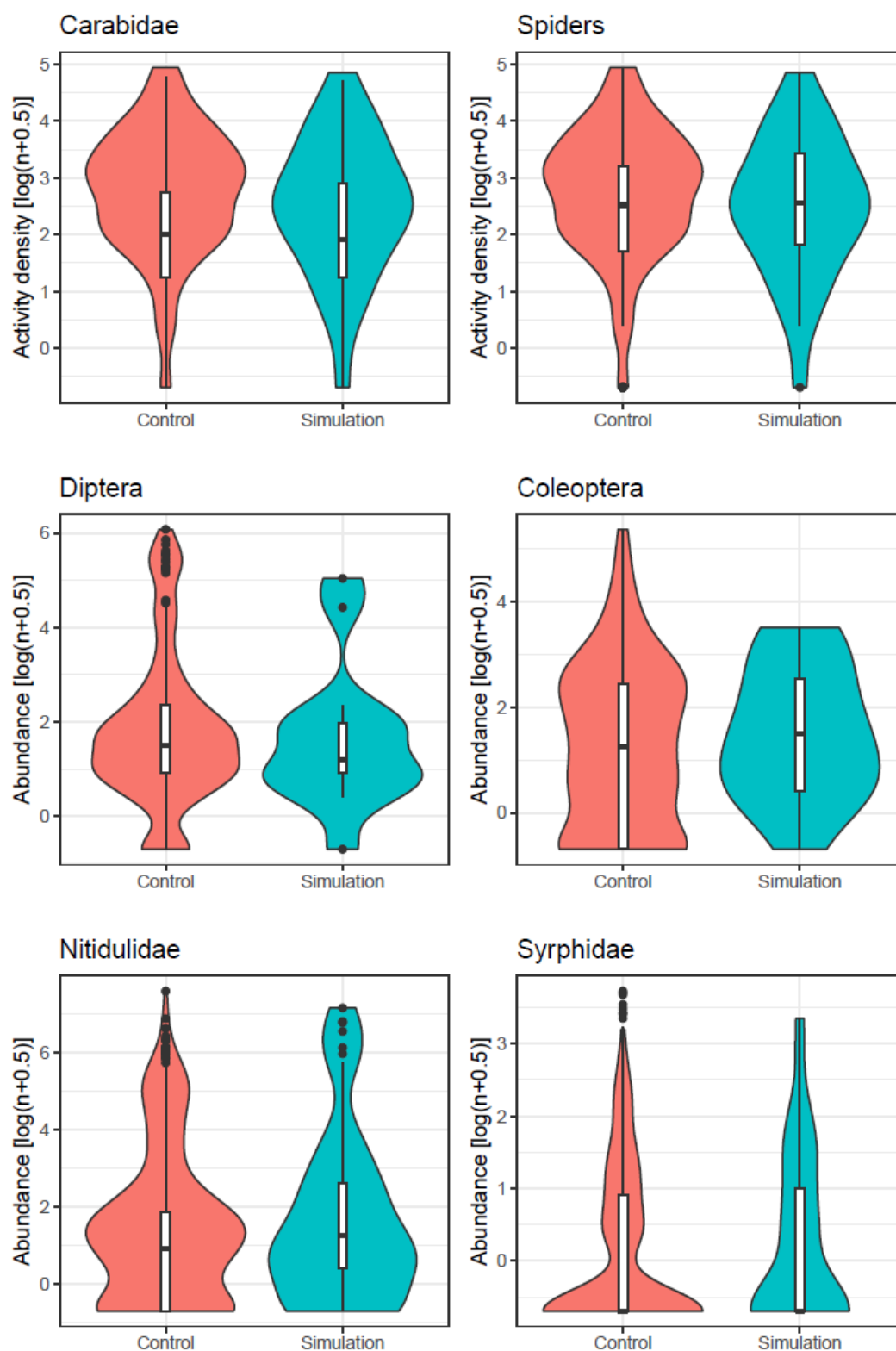
Přítomnost biopásů statisticky průkazně ovlivňovala velikost odchyty u všech skupin vyhodnocovaných ze zemních pastí a u brouků, ploštic a pestřenek v případě smýkání (Tabulka 11; Obrázek 19). Zbývajících pět skupin nebylo přítomností biopásů ovlivněno (Tabulka 11). Nejvariabilnější byla odpověď na přítomnost biopásů u barevných misek: pozitivní efekt biopásů byl zjištěn pro lesknáčky (Nitidulidae), samotářské včely (Aculeata) a včelu medonosnou, negativní efekt na pestřenky a pro ostatní dvoukřídlé a mšice nebyl efekt zjištěn žádný (Tabulka 11).

Typ biopásu neměl statisticky průkazný vliv na žádnou ze sledovaných skupin kromě mšic sledovaných barevnými miskami, jichž bylo nalezeno průkazně více v krmeném než v nektarodárném pásu (Tabulka 11; Obrázek 33). Podobně pak přítomnost simulace VBFS nijak statisticky průkazně neovlivnila velikost odchyty valné většiny skupin, kromě lesknáčků a mšic, jichž bylo průkazně více odchyceno ve variantě se simulací (Tabulka 11; Obrázek 33).

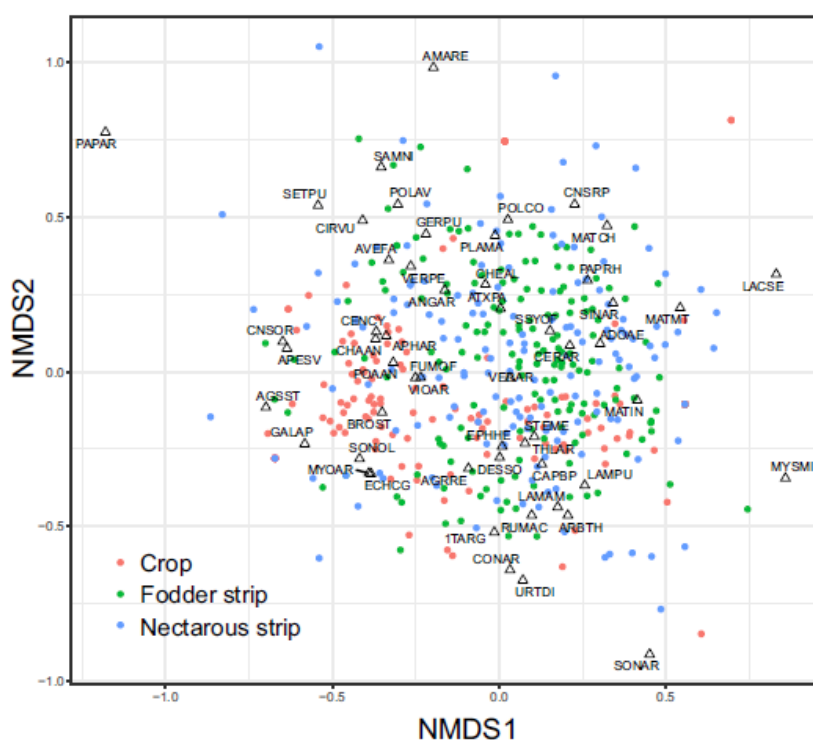
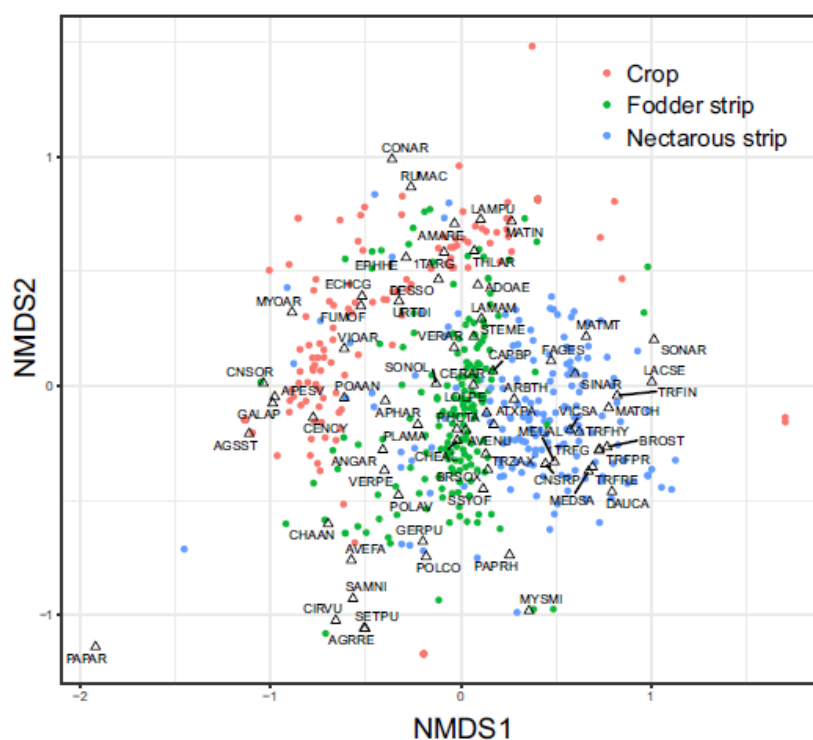
V rámci fytoocenologického snímkování bylo spočítáno celkem 12 156 jedinců rostlin z celkem 69 druhů. Třináct druhů bylo tvořilo více než 2 % z celkového počtu jedinců. Tyto druhy zahrnovaly kulturní (*Triticum aestivum*, *Trifolium* spp., *Trifolium pratense* a *Phacelia tanacetifolia*) i nekulturní druhy (*Tripleurospermum inodorum*, *Galium aparine*, *Viola arvensis*, *Fallopia convolvulus*, *Fumaria officinalis*, *Apera spica-venti*, *Capsella bursa-pastoris*, *Veronica arvensis* a *Thlaspi arvense*). Celkově tyto druhy tvořily 76.4 % jedinců, a *Tripleurospermum inodorum*, který byl nejdominantnějším druhem, pak sám zaobíral 13.1 % všech jedinců. Oproti tomu devět druhů bylo zaznamenáno pouze jednou, včetně *Adonis aestivalis*, druh vyžadující ochranu.



Obrázek 32 Příklady variability v početnosti (activity-density, abundance) mezi typy biotopů



Obrázek 33 Příklady variability v početnosti (activity-density, abundance) mezi variantami bez simulace a se simulací



Obrázek 34 Výsledek NMDS ordinace fytoocenologických snímků. A) Kompletní dataset. B) Dataset bez kulturních rostlin. EPPO kódy: <https://gd.eppo.int/>

Analýza byla založena na nemetrickém mnohorozměrném škálování (NMDS) ordinaci následovaná PERMANOVA pro porovnání složení společenstev. Celý postup byl proveden na plném souboru dat a na redukovaném souboru dat, ze kterého byly vynechány kulturní druhy.

Trendy vycházející z analýz jsou si poměrně podobné bez ohledu na rozsah použitých dat, ačkoliv zjištěné rozdíly jsou méně znatelné, pokud byla použita data bez kulturních rostlin. To vychází nejspíše z toho, že rozdíly jsou primárně dané vyšetými druhy rostlin v dvou druzích biopásů, ačkoliv ne všechny vyšeté druhy byly nakonec zaznamenány (viz údaje za rok 2023). Vegetace porostu plodiny je na základě NMDS poměrně dobře oddělená od vegetace biopásů, které od sebe naopak dobře odděleny nejsou (Obrázek 34A). PERMANOVA naopak ukazuje, že se všechny tři typy stanoviště od sebe průkazně liší (Tabulka 12). Druhy charakteristické pro krmný biopás byly (včetně vyšetých druhů) *Avena nuda*, *Brassica oleracea*, *Lysimachia arvensis*, *Cerastium arvense*, *Atriplex patula*, *Sisymbrium officinale* a *Chamerion angustifolium*, druhy charakteristické pro nektarodárný biopás pak *Trifolium* spp., *Trifolium pratense*, *Daucus carota*, *Medicago sativa*, *Vicia sativa*, *Melilotus albus*, *Trifolium repens*, *Fagopyrum esculentum*, *Lolium perenne*, *Trifolium hybridum*, *Matricaria discoidea* a *Sinapis arvensis*. Žádné druhy plevelů nebyly identifikované jako charakteristické pro plodinu. Přítomnost simulace VBFS průkazně ovlivnila společenstva rostlin, i když po vyloučení vyšetých druhů byl tento rozdíl velmi těsný (Tabulka 12).

Tabulka 12 Výsledky srovnání složení společenstev rostlin mezi jednotlivými typy stanovišť (PERMANOVA)

Srovnání	Všechny druhy			Pouze nekulturní druhy		
	R ²	F	P	R ²	F	P
Plodina vs x krmný pás	0.118	41.116	<0.001	0.053	17.190	<0.001
Plodina vs. nektarodárný pás	0.175	65.313	<0.001	0.036	11.178	<0.001
Krmný vs. nektarodárný pás	0.153	60.096	<0.001	0.009	2.770	0.004
Simulace vs. kontrola	0.011	5.212	<0.001	0.003	1.776	0.048

Dosažené výsledky dokládají, že biopásky obou typů vnořené do porostu plodiny obohacují biodiverzitu agroekocenóz, a že přítomnost simulací APV nijak tento pozitivní efekt nenarušuje.

11. Meteorologické údaje

Data umožňují optimalizaci umístění fotovoltaických panelů tak, aby se minimalizoval aerodynamický odpor a maximalizovala výroba energie. Dále může vítr působit jako chladič faktor pro panely, čímž zvyšuje jejich efektivitu. V oblasti zemědělského managementu má vítr vliv na mikroklima mezi jednotlivými agrovoltaickými liniemi, což ovlivňuje teplotu a vlhkost

půdy a tím i růst pěstovaných plodin. Provozní data o větru, zvláště informace o směru a síle větru, jsou také důležitá pro zajištění bezpečnosti konstrukcí, obzvláště v místech vystavených extrémním meteorologickým jevům.

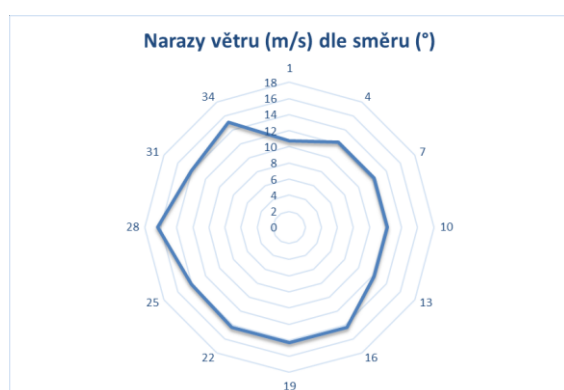
Celkový přehled meteorologických měřených hodnot na pokusné lokalitě jsou uvedeny v Tabulka 13.

Tabulka 13 Průměrné měsíční hodnoty zaznamenané meteorologickou stanicí na lokalitě Zavidov

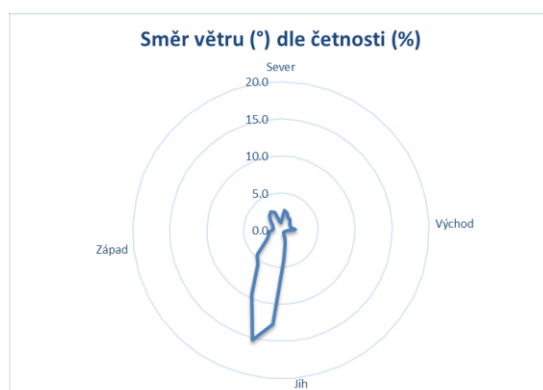
Rok-Měsíc	Průměrná teplota (°C)	Minimální teplota (°C)	Maximální teplota (°C)	Průměrný tlak vzduchu (hPa)	Průměrná vlhkost vzduchu (%)	Kumulativní srážky (mm)
2023-03	4,8	-5,5	16,9	959,3	75,7	33,2
2023-04	5,3	-3,6	19,4	964,7	77,8	49,6
2023-05	11,8	2,2	21,3	966,0	72,3	4,0
2023-06	17,4	6,2	30,0	966,2	71,0	63,4
2023-07	19,9	8,7	34,1	963,6	62,4	43,6
2023-08	19,1	9,7	31,9	963,9	74,9	59,6
2023-09	17,5	6,9	28,7	968,0	71,1	12,8
2024-03	6,9	-2,1	20,5	957,8	79,7	9,8
2024-04	10,2	-3,5	26,0	962,3	72,6	27,4
2024-05	14,4	6,6	22,8	962,0	80,7	105,8
2024-06	17,6	7,0	30,7	962,4	78,7	77,2
2024-07	19,9	10,1	31,1	963,9	73,4	67,2
2024-08	20,7	10,9	31,5	964,5	75,9	84,2
2024-09	15,2	3,0	31,4	963,3	81,2	81,4
Celkem	14,3	4,0	26,9	963,4	74,8	51,4

Povětrnostní podmínky

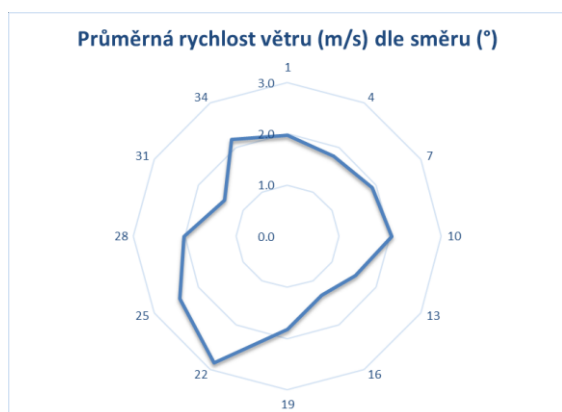
V rámci realizace byly monitorovány a vyhodnoceny data rychlost a směr větru. Výsledky sledování dat za rok 2023 a 2024 jsou graficky znázorněny v grafech (Obrázek 35, Obrázek 36 a Obrázek 37).



Obrázek 36 Nárazy větru podle směru na lokalitě



Obrázek 35 Převládající směr větru podle četnosti

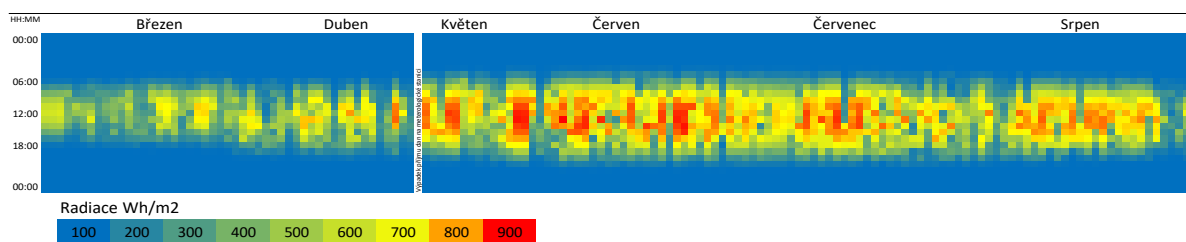


Obrázek 37 Rychlost větru podle směru na lokalitě

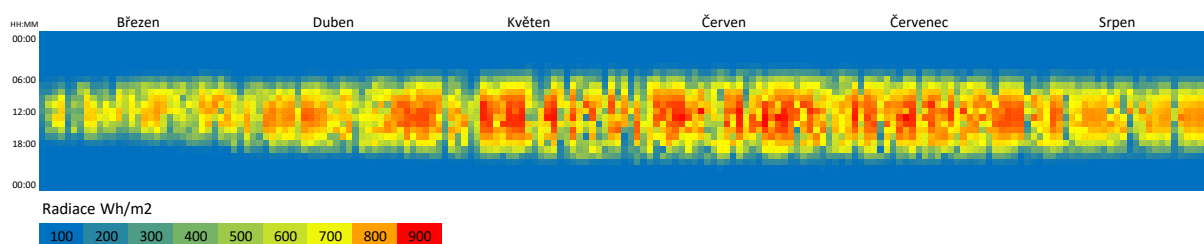
Pro instalaci vertikálních panelů jsou tato data důležitá jak z hlediska statiky konstrukcí, tak vlivu na mikroklimatické podmínky v okolí instalace. Směr, rychlost a síla větru bude mít dopad na výpočet potřebné konstrukce. Dále rychlost a směr větru bude mít vliv na vlhkost půdy. Vertikální linie může zpomalovat rychlost větru a snížit tak i odpar z půdy. Dále může vytvářet srážkový stín při směru větru kolmém na k vertikální linii. Tato skutečnost bude způsobuje nerovnoměrnou distribuci srážek v okolí vertikální linie.

Sluneční radiace

Obrázek 38 a Obrázek 39 představují grafický přehled intenzity sluneční radiace v průběhu měsíců březen až srpen zaznamenané meteorologickou stanicí umístěné na dané lokalitě. Intenzita radiace je zobrazena pomocí barevné škály. Nejvyšší hodnoty radiace jsou patrné v letních měsících kolem poledne, zatímco nižší hodnoty jsou běžné na jaře a ve večerních hodinách. Tento přehled může být užitečný pro plánování agrovoltaických výroben a případné využití energie.

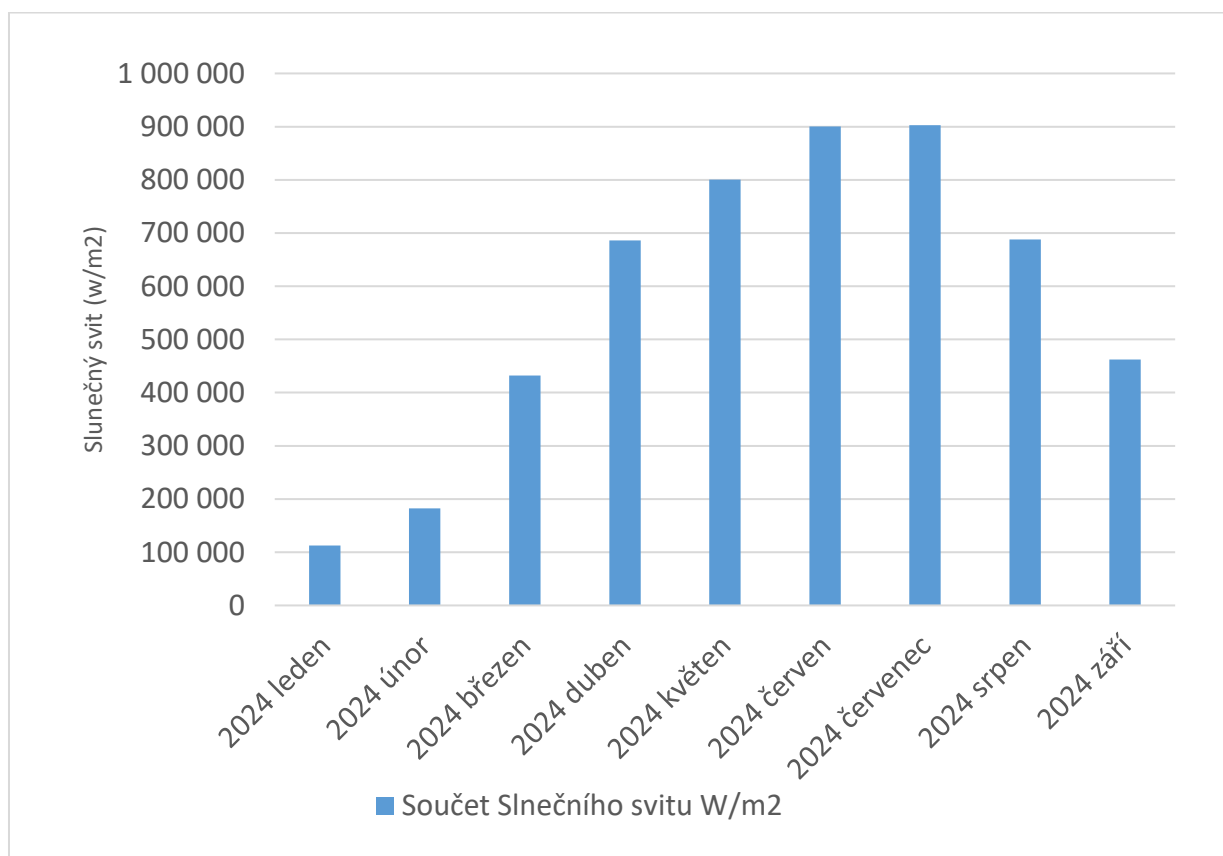


Obrázek 38 Teplotní mapa na sledované lokalitě v sezóně 2023



Obrázek 39 Teplotní mapa na sledované lokalitě v sezóně 2024

Úhrn slunečního svitu na Obrázek 40 ilustruje možnost využití energie během roku a nutnost plánování využití získané energie.



Obrázek 40 Součet slunečního svitu (W/m2) za měsíce 1 až 9 v roce 2024

Teplota vzduchu

Průměrné teploty vzduchu (°C) v uvedených měsících r. 2023 a 2024 jsou porovnány s údaji dlouhodobého teplotního normálu 1991-2020 (dále značeno 9120) pro území Prahy a Středočeského kraje z Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ). Následně jsou vyčísleny odchylky průměrných teplot vzduchu.

2023

Zimní měsíce na začátku r. 2023 vykazovaly nižší průměrné měsíční teploty vzduchu, než je dlouhodobý teplotní normál 9120 pro Prahu a Středočeský kraj (Tabulka 14, Obrázek 41 a Obrázek 42).

Výraznou zápornou odchylku teploty od normálu (-3,9°C) vykazoval měsíc duben. V tomto měsíci byl zaznamenán i nejvyšší úhrn srážek v r. 2023.

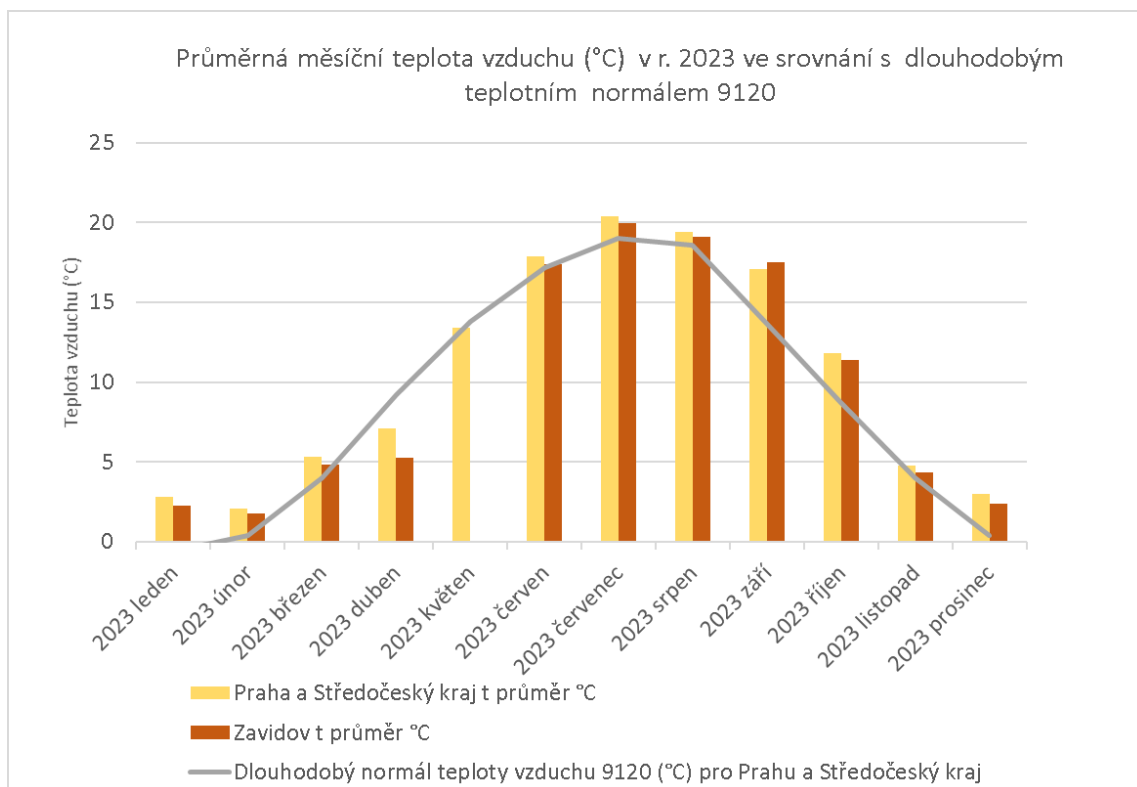
Letní měsíce vykazovaly průměrné teploty nad dlouhodobým teplotním normálem (odchylky červen 0,2°C; červenec 0,9°C, srpne 0,5°C).

Výrazná teplotní odchylka (+3,8°C) od normálu byla v září 2023. V tomto měsíci byl zaznamenán nejnižší úhrn srážek za uvedený rok (12,8 mm).

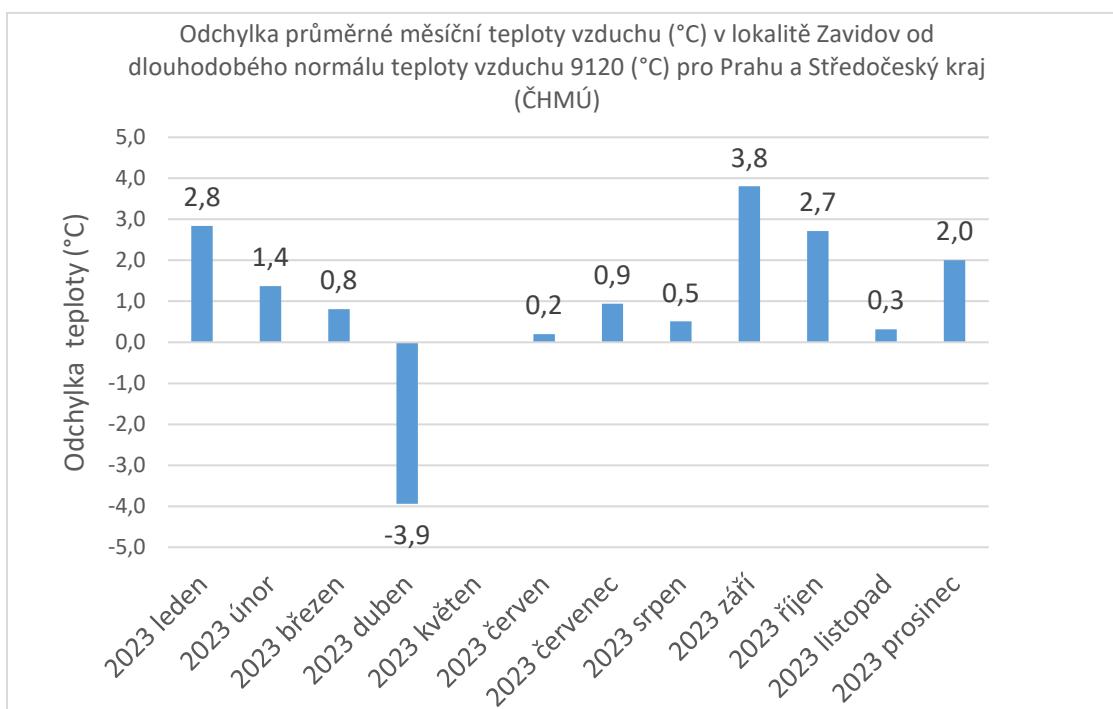
Tabulka 14 Shrnutí naměřených hodnot teploty vzduchu a porovnání s údaji ČHMÚ

ZAVIDOV - NORMÁL	Měsíc	Praha a Středočeský kraj	Zavidov	Dlouhodobý normál teploty vzduchu 9120 (°C) pro Prahu a Středočeský kraj
odchylka od normálu		t průměr (°C)	t průměr (°C)	
2.8	2023 leden	2.8	2.24	-0.6
1.4	2023 únor	2.1	1.77	0.4
0.8	2023 březen	5.3	4.81	4
-3.9	2023 duben	7.1	5.26	9.2
NA	2023 květen	13.4	NA	13.8
0.2	2023 červen	17.9	17.40	17.2
0.9	2023 červenec	20.4	19.94	19.0
0.5	2023 srpen	19.4	19.11	18.6
3.8	2023 září	17.1	17.50	13.7
2.7	2023 říjen	11.8	11.41	8.7
0.3	2023 listopad	4.8	4.32	4.0
2.0	2023 prosinec	3	2.40	0.4

Pozn. NA - data nebyla po část měsíce naměřena a daný měsíc hodnocen.



Obrázek 41 Průměrné měsíční hodnoty teploty vzduchu a porovnání s údaji ČHMÚ –zdroj: www.chmi.cz



Obrázek 42 Odchylky průměrných teplot vzduchu

2024

Průměrné teploty vzduchu (°C) ve sledovaném období 1-9/2024 jsou zpracovány podle meteorologické stanice v Zavidově. Výsledné hodnoty jsou porovnány s údaji dlouhodobého teplotního normálu 1991-2020 (dále značeno 9120) pro území Prahy a Středočeského kraje z

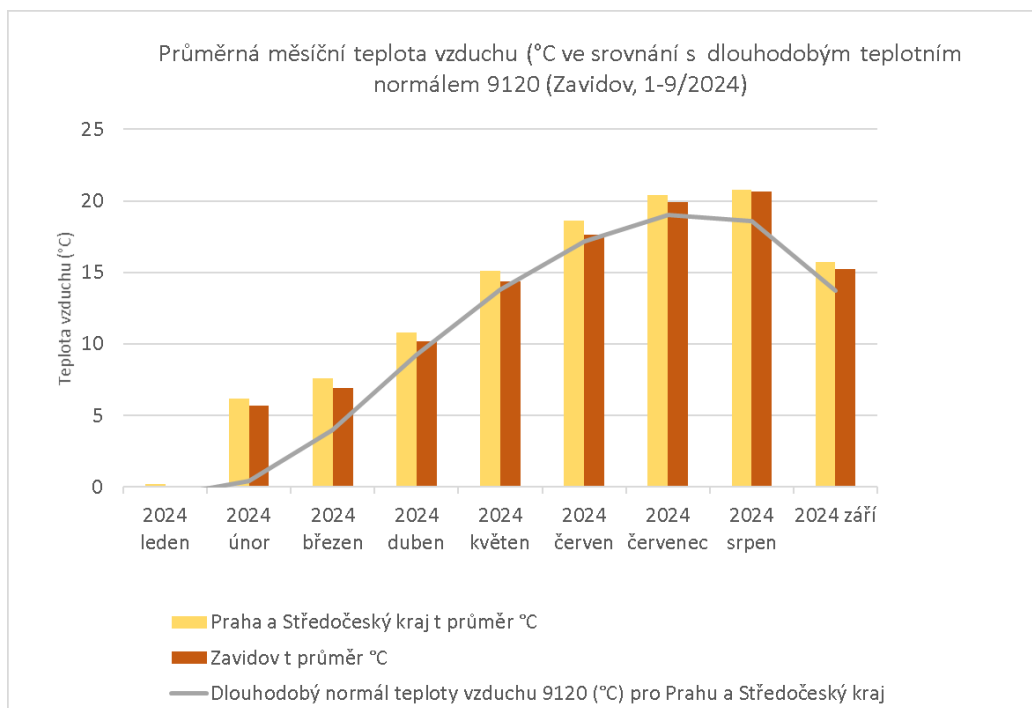
Českého hydrometeorologického ústavu. Následně jsou vyčísleny odchylky průměrných teplot vzduchu (Tabulka 15, Obrázek 43 a Obrázek 44).

Na začátku r. 2024 byla pouze v lednu nižší průměrné měsíční teploty vzduchu (o $-0,17^{\circ}\text{C}$) než je dlouhodobý teplotní normál 9120 pro Prahu a Středočeský kraj. Od února do září 2024 byly teploty vzduchu na lokalitě Zavidov vyšší než dlouhodobý normál teploty vzduchu 9120.

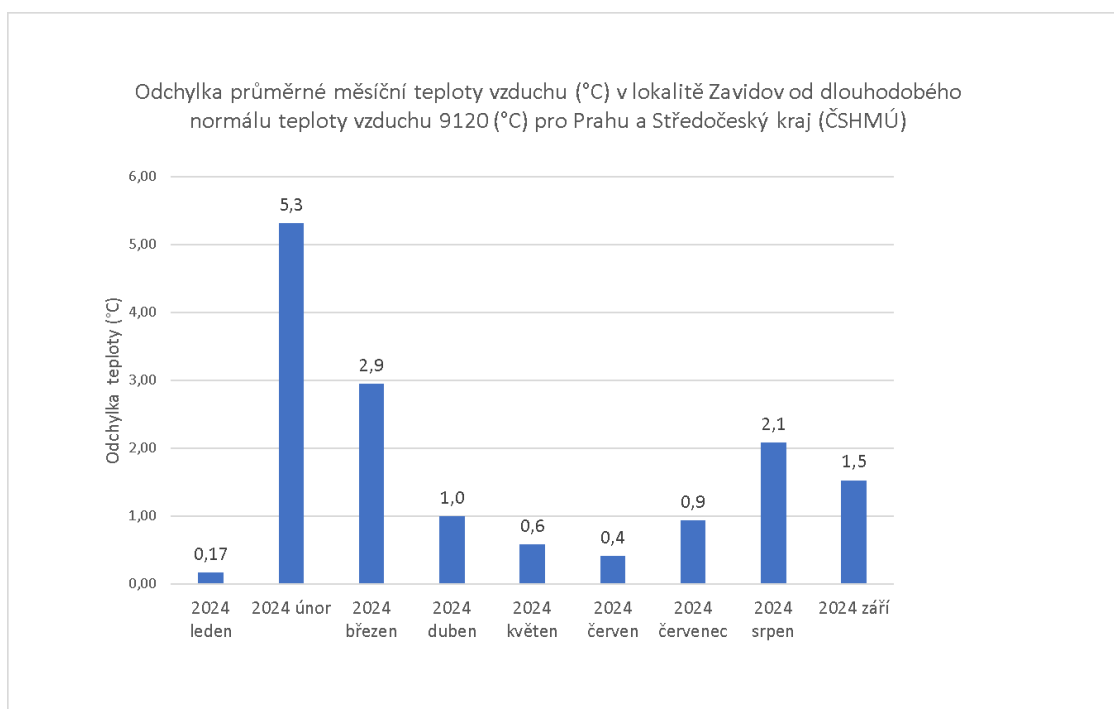
Výrazná teplotní odchylka ($+5,3^{\circ}\text{C}$) od normálu byla v únoru 2024, kdy byl zaznamenán úhrn srážek 44,2 mm, tj. 158 % dlouhodobého srážkového normálu; v březnu 2024 byla teplotní odchylka $+2,9^{\circ}\text{C}$ od normálu, kdy byl zaznamenán nejnižší úhrn srážek (9,8 mm), tj 26 % dlouhodobého srážkového normálu, v srpnu 2024 byla teplotní odchylka $+2,1^{\circ}\text{C}$ od normálu, s úhrnem srážek 84,2 mm, tj. o 17 % více než dlouhodobý srážkový normál.

Tabulka 15 Shrnutí naměřených hodnot teploty vzduchu a porovnání s údaji ČHMÚ

ZAVIDOV - NORMÁL	Měsíc	Praha a Středočeský kraj	Zavidov	Dlouhodobý normál teploty vzduchu 9120 ($^{\circ}\text{C}$)
odchylka od normálu		t průměr $^{\circ}\text{C}$	t průměr $^{\circ}\text{C}$	pro Prahu a Středočeský kraj
0,17	2024 leden	0,2	-0,43	-0,6
5,3	2024 únor	6,2	5,71	0,4
2,9	2024 březen	7,6	6,94	4,0
1,0	2024 duben	10,8	10,20	9,2
0,6	2024 květen	15,1	14,38	13,8
0,4	2024 červen	18,6	17,61	17,2
0,9	2024 červenec	20,4	19,93	19,0
2,1	2024 srpen	20,8	20,68	18,6
1,5	2024 září	15,7	15,23	13,7



Obrázek 43 Průměrné měsíční hodnoty teploty vzduchu a porovnání s údaji ČHMÚ – zdroj: www.chmi.cz



Obrázek 44 Odchylky průměrných teplot vzduchu

Srážky

Zpracovávané údaje byly porovnány s hodnotami srážek dlouhodobého srážkového normálu 1991 - 2020 pro území Prahy a Středočeského kraje z Českého hydrometeorologického ústavu.

Pro doplnění jsou uvedena data úhrnu srážek na území Prahy a Středočeského kraje za rok 2023 a 2024.

2023

Měsíční úhrny srážek v roce 2023 dané lokality a porovnání se srážkovým normálem. Úhrny měsíčních srážek na sledované lokalitě v lednu a únoru vykazují nízké hodnoty ve srovnání s dlouhodobým srážkovým normálem. Leden a únor r. 2023 měly více než polovinu dnů bez srážek. V měsíci březnu dosahoval úhrn srážek již 87 % dlouhodobého srážkového normálu (Obrázek 45).

Srážkově příznivý byl měsíc duben, kdy úhrn srážek činil 49 mm, tj. 160 % dlouhodobého srážkového normálu. Přesto byl počet dnů bez srážek více než polovinu dnů v měsíci (17 dnů).

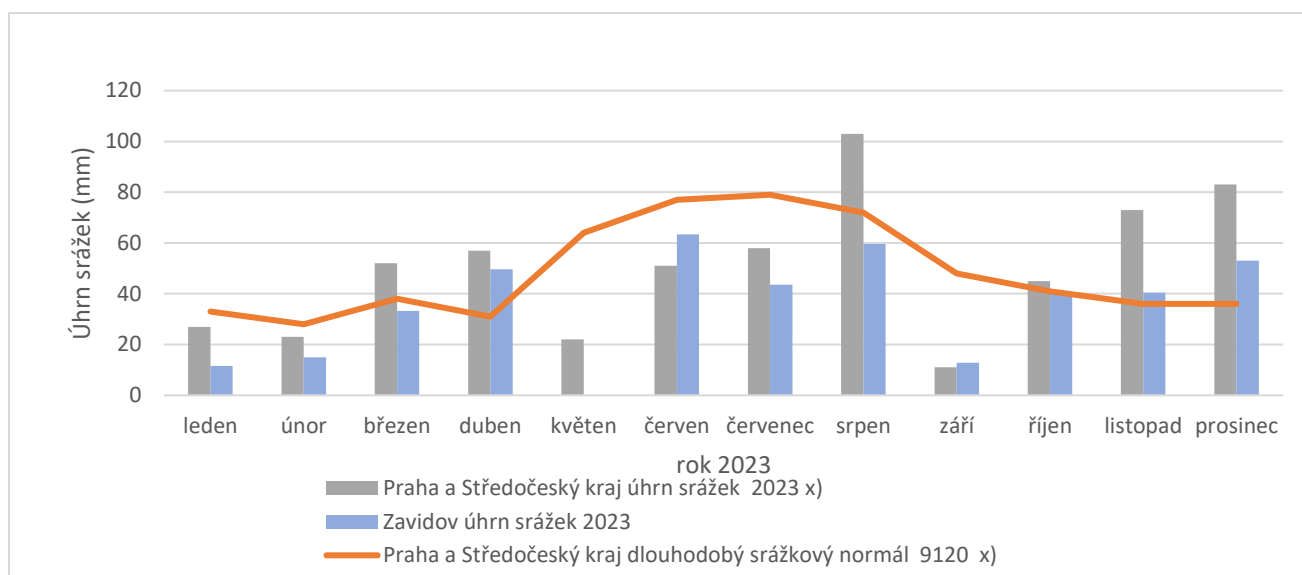
Úhrny srážek v letních měsících vykazují pokles ve srovnání s dlouhodobým srážkovým normálem. V těchto měsících byla zaznamenán i velký počet dnů bez srážek (červen 15 dnů, červenec 18 dnů, srpen 17 dnů).

Výrazně nízký úhrn srážek je zaznamenán v měsíci září 12,8 mm, tj. pouze 27 % dlouhodobého srážkového normálu a bez srážek bylo celkem 27 dnů.

Srážkově příznivější byly měsíce říjen s úhrnem 40,8 mm, listopad s úhrnem 40,4 mm a prosinec s úhrnem 53,mm, tj. 99,5 % a více dlouhodobého srážkového normálu.

Pro doplnění údajů byly vyčísleny dny, ve kterých nebyly zaznamenány srážky (Tabulka 16). Nejvyšší počet dnů bez srážek (27 dnů) byl zaznamenán v září, kdy úhrn srážek činil pouze 12,7 mm. Nejnižší počet dnů bez srážek (7 dnů) byl v měsíci listopad.

Ostatní měsíce r. 2023 vykazovaly více než polovinu dní bez srážek.



Obrázek 45 Porovnání měsíčních úhrnů srážek – Zavidov. Měsíc květen kvůli výpadku sítě SigFox u meteostanice nebyl hodnocen.

Tabulka 16 Počet dnů bez srážek za sledované období (od 1.1.2023 do 30.4.2023; od 1.6.2023 do 31.12.2023)

Měsíc	I. dekáda	II. dekáda	III. dekáda	celkem dnů
leden	8	4	5	17
únor	5	8	5	18
březen	5	5	6	16
duben	6	6	5	17
květen	NA	NA	NA	NA
červen	5	6	4	15
červenec	6	8	4	18
srpen	3	8	6	17
září	9	8	10	27
říjen	6	7	4	17
listopad	3	1	3	7
prosinec	4	5	5	14
Celkový počet dnů bez srážek				183

Pozn. NA - data nebyla po část měsíce naměřena a daný měsíc hodnocen.

Měsíční úhrny srážek (leden až září 2024) dané lokality a porovnání se srážkovým normálem (Tabulka 17).

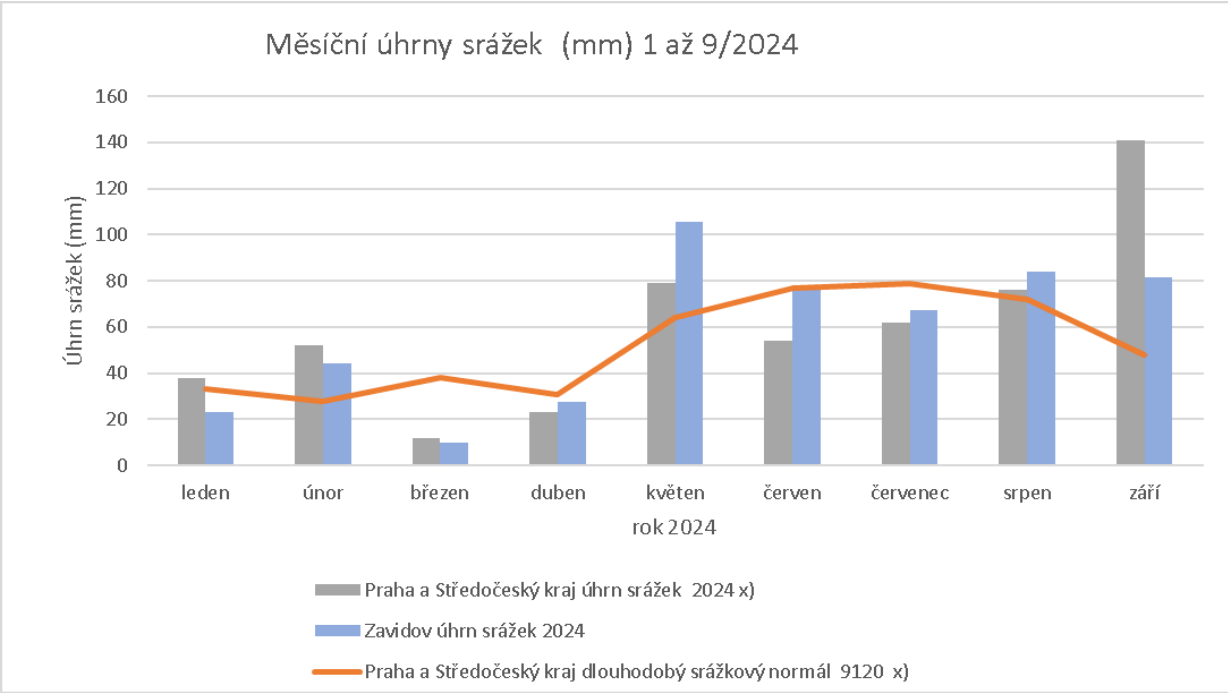
Úhrny srážek v měsících únor, květen, srpen a září vykazují vyšší hodnoty ve srovnání s dlouhodobým srážkovým normálem (únoru 158 %, květen 165 %, srpen 117 %, září 170 % dlouhodobého srážkového normálu). Měsíc červen byl úhrnem srážek na 100 % srážkového normálu.

V těchto měsících byly zaznamenány též velké počty dnů bez srážek (únor 11 dnů, květen 14 dnů, červen 17 dnů, srpen 23 dnů, září 21 dnů).

Úhrny srážek v měsíci leden 23 mm, duben 88 mm a červenec 85 mm, byly na 70% a více dlouhodobého srážkového normálu. Výrazně nízký úhrn srážek je zaznamenán v měsíci březnu 9,8 mm, tj. pouze 26 % dlouhodobého srážkového normálu a bez srážek v tomto měsíci bylo celkem 23 dnů. Z dostupných údajů za rok 2024 z meteorologické stanice v Zavidově byly vyčísleny dny v jednotlivých měsících ve sledovaném období (leden až září 2024), ve kterých nebyly zaznamenány srážky (Tabulka 18).

Nejvyšší počet dnů bez srážek byl zaznamenán v lednu 20 dnů, s úhrnem srážek 23 mm; březnu 23 dnů, kdy úhrn srážek činil pouze 9,8 mm; v dubnu počet dnů beze srážek 22 dnů, s úhrnem 27,8 mm.

V srpnu bylo 23 dnů bez srážek, s úhrnem 84,2 mm; v září byl počet dnů beze srážek 21, s úhrnem 81,4 mm. Nejnižší počet dnů bez srážek (14 dnů) byl v měsíci květnu, který vykazoval nejvyšší úhrn srážek 105,8 mm. Pro doplnění údajů jsou uvedeny dny ve sledovaném období, kdy úhrn srážek byl vyšší než 10 mm (Tabulka 19).



Obrázek 46 Porovnání měsíčních úhrnů srážek – Zavidov 2024

Tabulka 17 Úhrn srážek za sledované období (od 1.1.2024 do 30.9.2024)

Měsíce/Rok	Praha a Středočeský kraj dlouhodobý srážkový normál 9120 x)	Praha a Středočeský kraj úhrn srážek 2024 x)	Zavidov úhrn srážek 2024	rozdíl (NORMÁL - ZAVIDOV)	Úhrn srážek ZAVIDOV za 1 až 9/2024 v % NORMÁLu
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
leden	33	38	23,0	10,0	70
únor	28	52	44,2	-16,2	158
březen	38	12	9,8	28,2	26
duben	31	23	27,4	3,6	88
květen	64	79	105,8	-41,8	165
červen	77	54	77,2	-0,2	100
červenec	79	62	67,2	11,8	85
srpen	72	76	84,2	-12,2	117
září	48	141	81,4	-33,4	170

Pozn.: x) Pro porovnání úhrnu srážek byly použity údaje - ČHMÚ

Tabulka 18 Počet dnů bez srážek za sledované období (od 1.1.2024 do 30.9.2024)

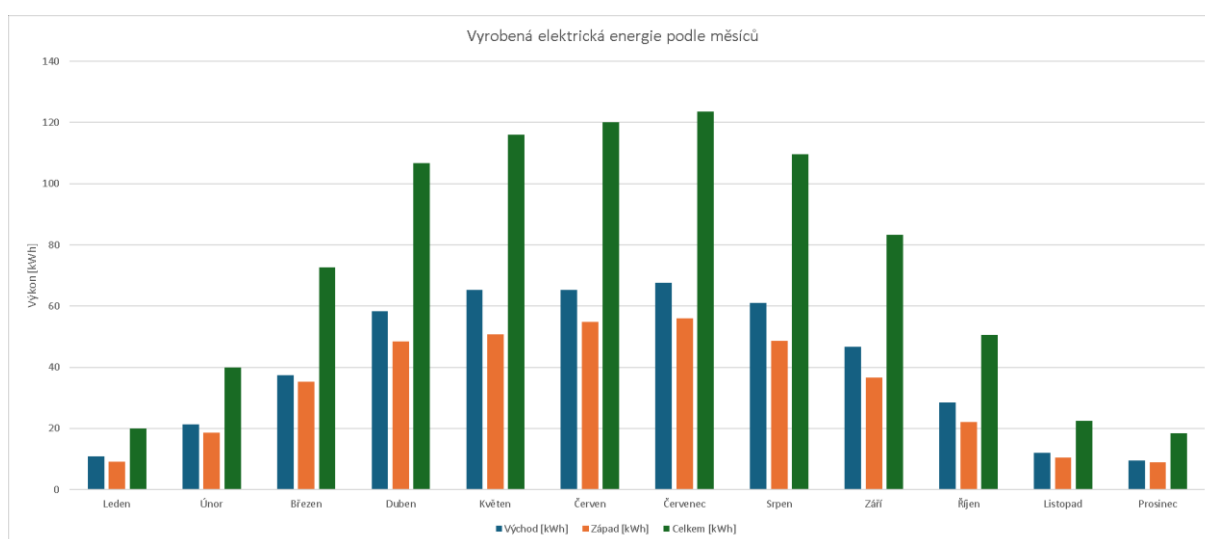
Měsíc	I. dekáda	II. dekáda	III. dekáda	celkem dnů
leden	5	9	6	20
únor	4	1	6	11
březen	7	8	8	23
duben	7	5	10	22
květen	6	6	2	14
červen	6	6	5	17
červenec	4	6	8	18
srpen	5	8	10	23
září	8	6	7	21
Celkový počet dnů bez srážek				169

Tabulka 19 Denní úhrny srážek nad 10 mm ve sledovaném období (od 1.1.2024 do 30.9.2024)

Den	Úhrn srážek nad 10 mm
02.01.24	10,8
08.02.24	15,2
10.04.24	11,2
07.05.24	35,0
25.05.24	12,8
01.06.24	12,0
17.06.24	12,4
10.07.24	44,8
04.08.24	16,4
08.08.24	19,6
19.08.24	13,2
09.09.24	25,0
13.09.24	11,6
15.09.24	13,8

12. Model výkonu vertikální agrovoltaické elektrárny a stanovení ekonomických parametrů

Pro produkci výroby elektrické energie byl vytvořen model v programu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information Systém) pro místo, kde se nachází pokusná lokalita projektu. U bifaciálních panelů bylo počítáno s albedo (odrazivost od okolní plochy) efektem 20 %. Získaná data pochází od roku 2005 do roku 2020, ze kterých byl vytvořen průměr. Pro výpočet bylo uvažováno, že jsou panely orientovány jednou stranou na východ, druhou stranou na západ a jsou ve vertikální poloze (Obrázek 47).

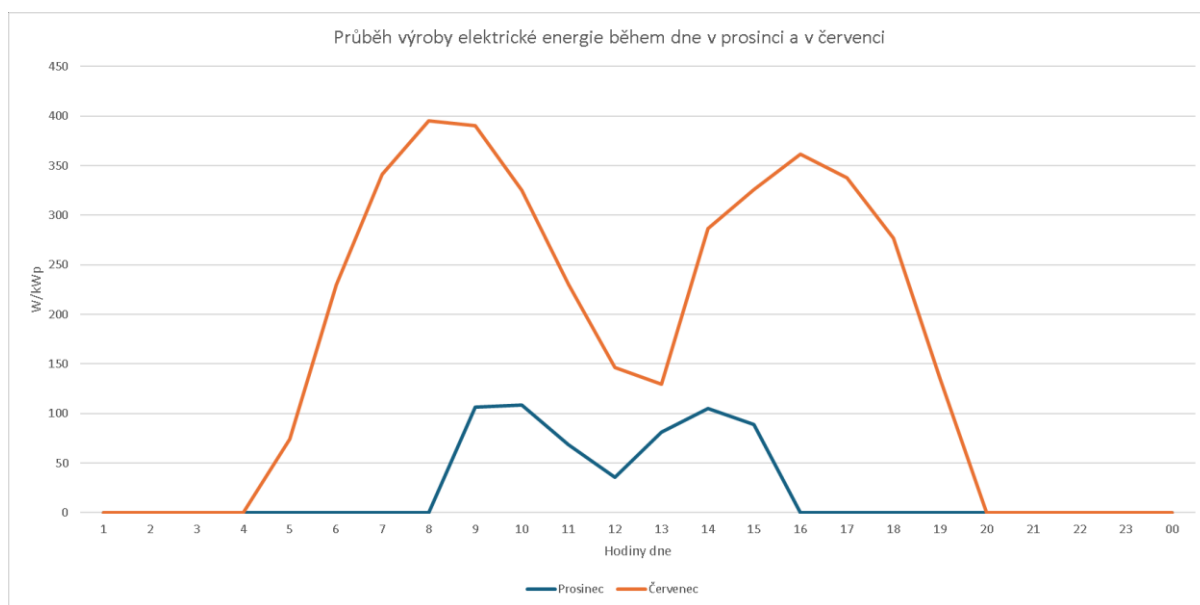


Obrázek 47 Model výroby elektřiny dle orientace jednotlivých stran panelů s celkovou produkcí elektřiny za rok 2024 zdroj: PVGIS

Obrázek 47 znázorňuje model výroby elektrické energie podle jednotlivých měsíců z obou orientací panelů včetně celkového výnosu v jednotlivých měsících. Model ukazuje, že nejnižší výroba agrovoltaické elektrárny (APV) je v prosinci s hodnotou 18,446 kW.1 kWp⁻¹ instalovaného výkonu, naopak nejvyšší výroba agrovoltaické elektrárny je v červenci s hodnotou 123,598 kW.1 kWp⁻¹ instalovaného výkonu. Celkem lze dle modelu vertikální agrovoltaické elektrárny osazené bifaciálními panely v podmínkách nížin 50. rovnoběžky dosáhnout z 1 kWp instalovaného výkonu výnosu až 883,446 kW elektrické energie. Největší nevýhodou je sezónnost výroby elektrické energie, v létě je vyráběno velké množství energie, ale naopak v zimních měsících je vyroben pouze zlomek.

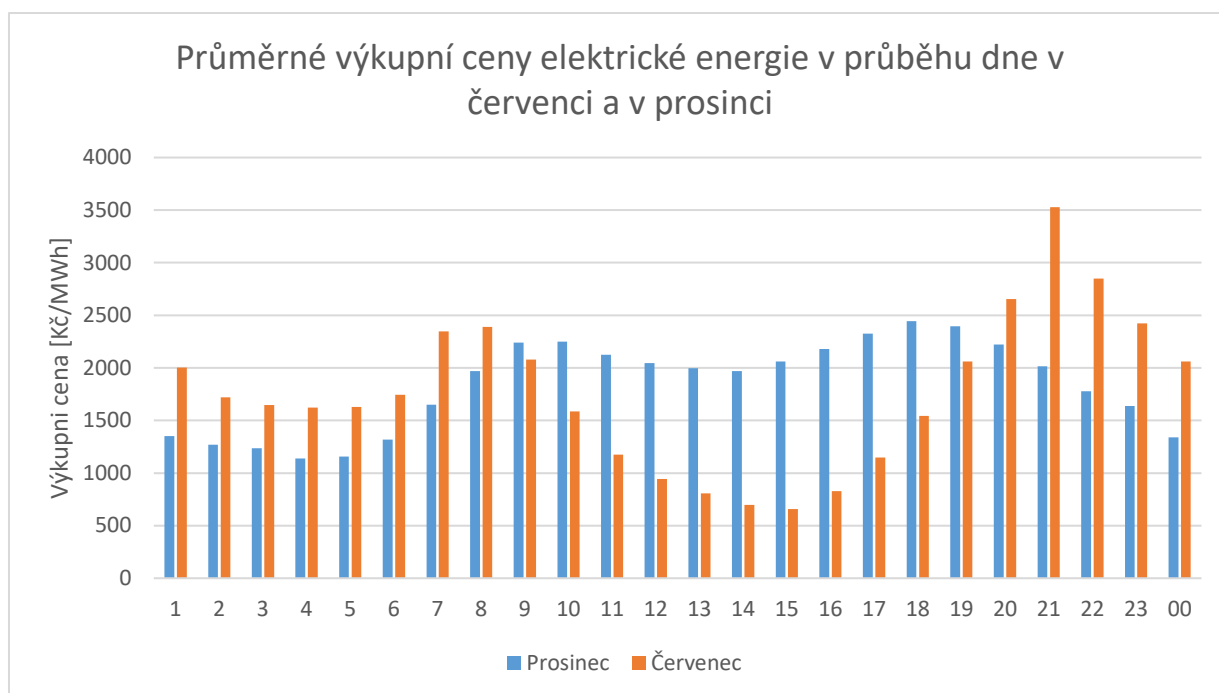
Agrovoltaická elektrárna tvořená vertikálními bifaciálními panely má nespornou výhodu v rozložení výroby elektrické energie během dne. Oproti běžným horizontálním konstrukcím jsou vrcholy výroby elektrické energie dva, jeden dopoledne a druhý odpoledne. Tento faktor může mít pozitivní vliv na okamžitou výkupní cenu elektrické energie a poté i celkovou

návratnost technologie. Nejvyšší výkonnosti vertikální agrovoltaické elektrárny lze dosáhnout, pokud je orientace jedné strany panelů přímo na východ a druhé strany přímo na západ. Levý vrchol v grafu níže (Obrázek 48) je tvořen osvitem na panely z východní strany a pravý vrchol je tvořen osvitem na panely ze západní strany. Nejvyšší hodnota výroby elektrické energie byla v červencových dopoledních hodinách, kde se pohybovala okolo 400 W.1 kWp-1 instalovaného výkonu, naopak nejnižší výroba elektrické energie byla v prosinci, kde hodinová maxima dosahovala pouze okolo 100 W. 1 kWp-1 instalovaného výkonu.



Obrázek 48 Průběh výroby elektrické energie během vybraného dne v červenci a prosinci 2024 zdroj: OTE - <https://www.ote-cr.cz/cs>

Po porovnání grafů (Obrázek 48 a Obrázek 49) je již patrné, proč jsou vertikální bifaciální elektrárny tak oblíbené z hlediska rozložení výroby elektrické energie a výkupní ceny na spotovém trhu. Hodnoty výkupní ceny elektrické energie byly čerpány od společnosti OTE (odkaz <https://www.ote-cr.cz/cs>, 2025), která se zabývá obchodováním s energiemi.



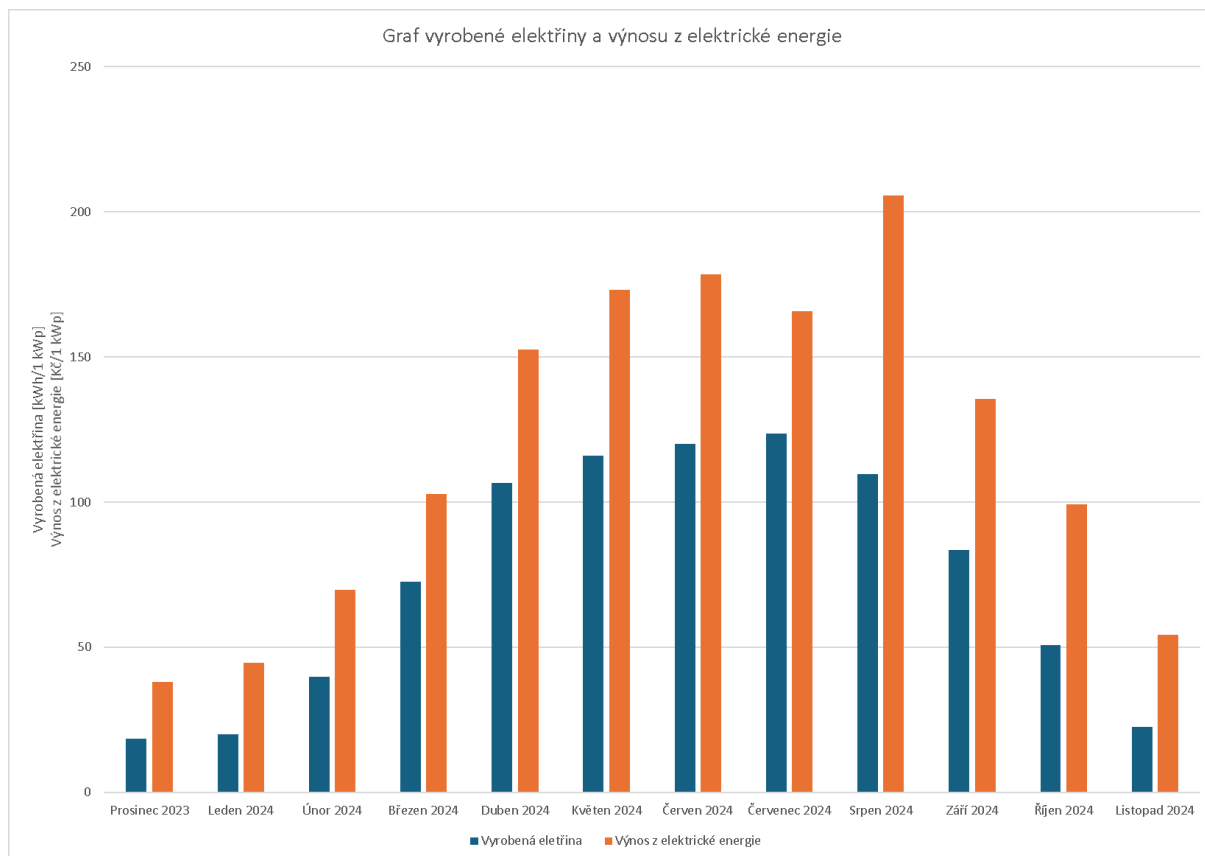
Obrázek 49 Průběh cen elektrické energie během vybraného dne v červenci a prosinci 2024 zdroj: OTE - <https://www.ote-cr.cz/cs>

Pro modelový výnos z prodeje elektrické energie z agrovoltaické elektrárny byl zvolen spotový prodej. Pro modelaci výnosů z prodeje elektrické energie bylo zvoleno období od prosince 2023 do listopadu 2024, výkupní cena se v tomto období pohybovala od - 2000 Kč do 5000 Kč. Výkupní cena je velice proměnlivá, protože právě proměnlivé množství vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů vede k jejímu přebytku v době, kdy není nejvyšší poptávka. Díky tomuto faktoru se v některých dnech dostala cena elektřiny na spotovém trhu do záporných hodnot. Celkově lze říci, že výkupní cena elektrické energie v letních měsících dosahuje nižších hodnot oproti měsícům zimním, kde je poptávka obvykle vyšší z důvodu topné sezóny. Nejnižší průměrná výkupní cena byla v červenci 2024, kdy dosáhla hodnoty $1,34 \text{ Kč.kW}^{-1}$, naopak nejvyšší výkupní cena byla v lednu, kdy dosáhla hodnoty $2,22 \text{ Kč.kW}^{-1}$. V případě záporných cen na spotovém trhu bylo počítáno s odpojením elektrárny od sítě, aby se neprodlužovala návratnost (Tabulka 20).

Tabulka 20 Vypočtený výnos z APV v roce 2024 dle jednotlivých měsíců

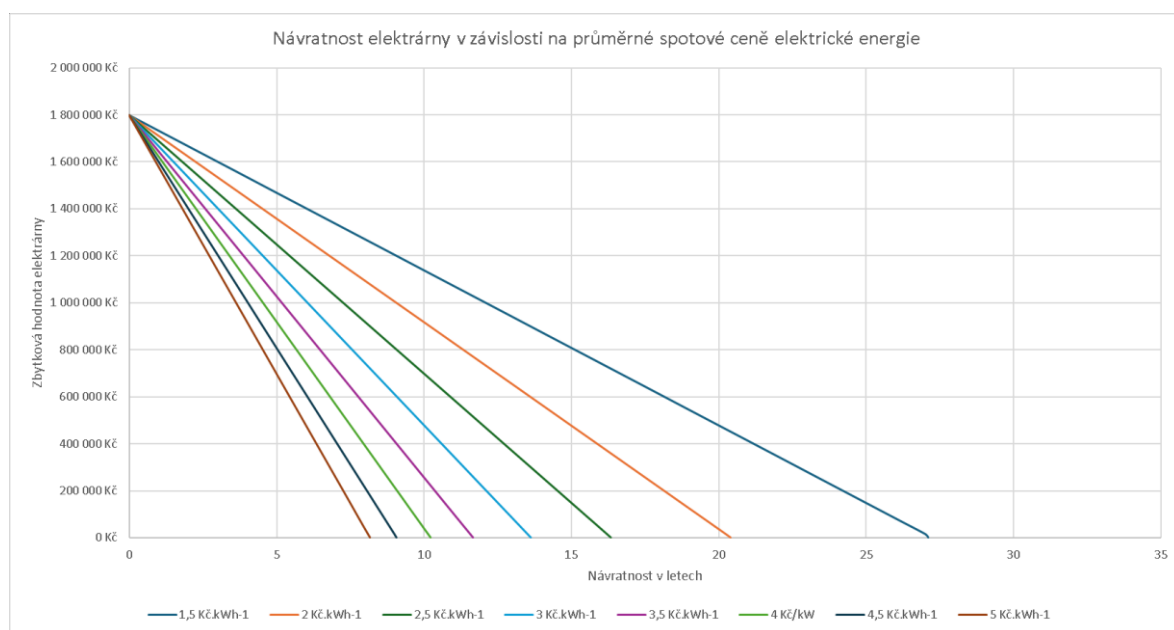
Měsíc	Vyrobená elektřina [kWh.1 kWp ⁻¹]	Výnos z elektrické energie [Kč.1 kWp ⁻¹]	Cena za kWh
Prosinec 2023	18,446	38,03 Kč	2,06 Kč
Leden 2024	20,037	44,56 Kč	2,22 Kč
Únor 2024	39,842	69,68 Kč	1,75 Kč
Březen 2024	72,694	102,66 Kč	1,41 Kč
Duben 2024	106,638	152,45 Kč	1,43 Kč
Květen 2024	115,931	173,17 Kč	1,49 Kč
Červen 2024	119,975	178,40 Kč	1,49 Kč
Červenec 2024	123,598	165,89 Kč	1,34 Kč
Srpen 2024	109,683	205,70 Kč	1,88 Kč
Září 2024	83,379	135,64 Kč	1,63 Kč
Říjen 2024	50,644	99,27 Kč	1,96 Kč
Listopad 2024	22,599	54,18 Kč	2,40 Kč
Celkem	883,466	1 419,63 Kč	

Vztah mezi množstvím prodané elektrické energie a výnosem z elektrické energie nejlépe reflektuje Obrázek 50. Z grafu je patrné, že největší množství prodané elektrické energie nemusí znamenat nejvyšší výnosy z elektrické energie, je to způsobeno proměnností cen na spotovém trhu.



Obrázek 50 Graf vyrobené elektřiny a výnosu z prodeje elektřiny na spotovém trhu

Návratnost agrovoltaických elektráren, které by prodávaly elektrickou energii pouze do sítě za spotové ceny jsou již za hranicí návratnosti. V tomto modelovém případě by návratnost agrovoltaické elektrárny byla 25,4 roku, což je za hranicí návratnosti, protože životnost je počítána okolo 20 let. Vstupní podmínky pro výpočet životnosti byly: agrovoltaická elektrárna 49,95 kWp, cena 1,8 mil Kč, roční výnos z prodeje elektrické energie u 1 kWp instalovaného výkonu by dosahoval 1 419,63 Kč. Pokud by ale elektrická energie vyprodukovaná agrovoltaickou elektrárnou alespoň z části byla zužitkována v zemědělském podniku, tak by se návratnost snížila i do reálné doby průměrná (průměrná cena elektřiny pro rok 2025 činí 6,-Kč.kWh⁻¹ stav ke dni 31.5.2025). Následně by již nemuselo jednat o zmařenou investici, dalším faktorem snižujícím návratnost agrovoltaické elektrárny může být rapidní růst cen energií na spotovém trhu. Obrázek 51 ukazuje proměnnost návratnosti agrovoltaické elektrárny v letech podle průměrné ceny za kWh elektřiny.

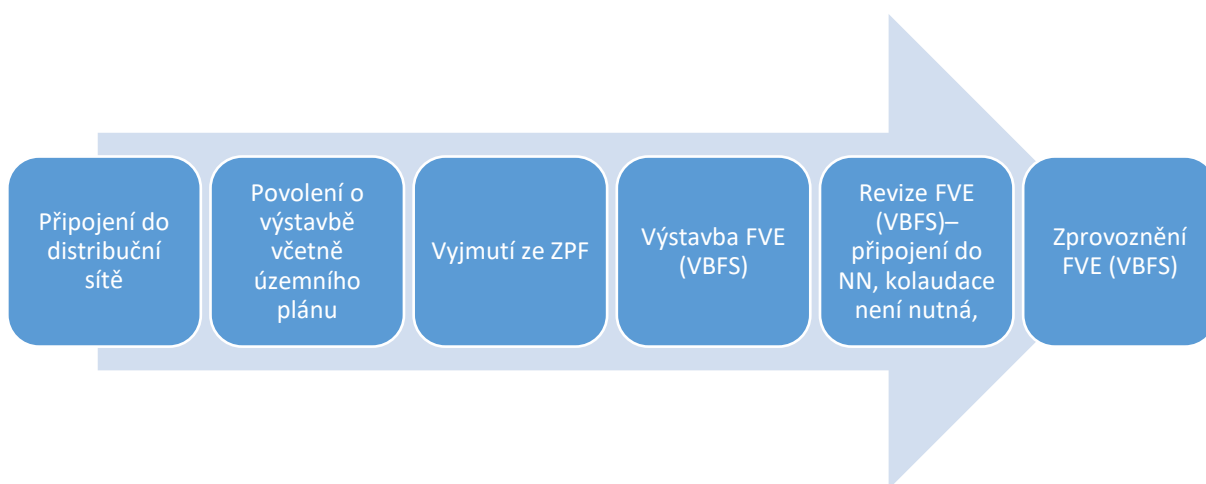


Obrázek 51 Návratnost APV v závislosti na průměrné spotové ceně elektřiny

13. Legislativní proces výstavby VBFS

Legislativní proces povolení pro výstavbu agrovoltaické výroby elektřiny v ČR je extrémně náročný proces, přestože byly veškeré úřady velmi vstřícné a s konstruktivním přínosem pro řešení projektu. Samotný proces schvalování trval přes 9 měsíců, který byl možné realizovat po změně energetického zákona č. 458/2000 Sb., lex OZE I, který zejména zjednodušil připojení do distribuční sítě nízkého napětí pro instalované výkony FVE (VBFS) do 50kWp. Bylo a je nutné v současné legislativě řešit souběžně legislativu týkající se oblasti energetické, zemědělské, ochrany přírody a stavební pro samotnou výstavbu VBFS na poli. Samotné procesy se významně nelišily od schvalovacích procesů pro klasickou fotovoltaickou elektrárnu. Během doby realizace projektu došlo ke změně legislativy zejména zákona o ochraně zemědělského půdního fondu zákon č. 334/1992 Sb. a vzniku provádějící vyhlášky č. 425/2024 Sb., která umožňuje od 1.1.2025 realizaci APV na vybraných zemědělských kulturách.

Obrázek 52 zobrazuje zjednodušené schéma kroků, které bylo nezbytné vykonat pro schválení experimentální FVE (VBFS) v intravilánu obce Zavidov.



Obrázek 52 Zjednodušené schéma schvalovacího procesu pro VBFS v intravilánu obce (stav k roku 2024)

Nejzákladnější je první krok, schválení připojení do distribuční soustavy provozovatele elektrické sítě (V ČR jsou to ČEZ distribuce a.s., EG.D., a.s. a PREdistribuce, a.s.) v kombinaci s kladným předběžným vyjádřením obecní či městské správy s navrženým projektem v intravilánu obce. Samotná realizace v extravilánu obce (nezastavěné části katastrálního území – obce, města) je velmi komplikovaná až nemožná. Jedna z možných reálných řešení výstavby VBFS v extravilánu obce je naplánovat instalovaný výkon nad 1MWp.

Následují kroky k získání stavebního a územního souhlasu z příslušného stavebního odboru obce (města). Kdy je nutné mít k dispozici plnou projektovou dokumentaci. Získáním stavebního a územního souhlasu, může zemědělec požádat o zahájení řízení na vyjmutí ze zemědělského půdního fondu. Odbor umožní vyjmutí linií VBFS či celé plochy dočasně či trvale ze Zemědělského půdního fondu (ZPF). Je nutné uhradit odpovídající částku za vyjmutí ze ZPF na základě jednotky BPEJ. Nezbytnou podmínkou pro vyjmutí ze ZPF bylo i oplocení VBFS ve vzdálenosti 1 m od VBFS.

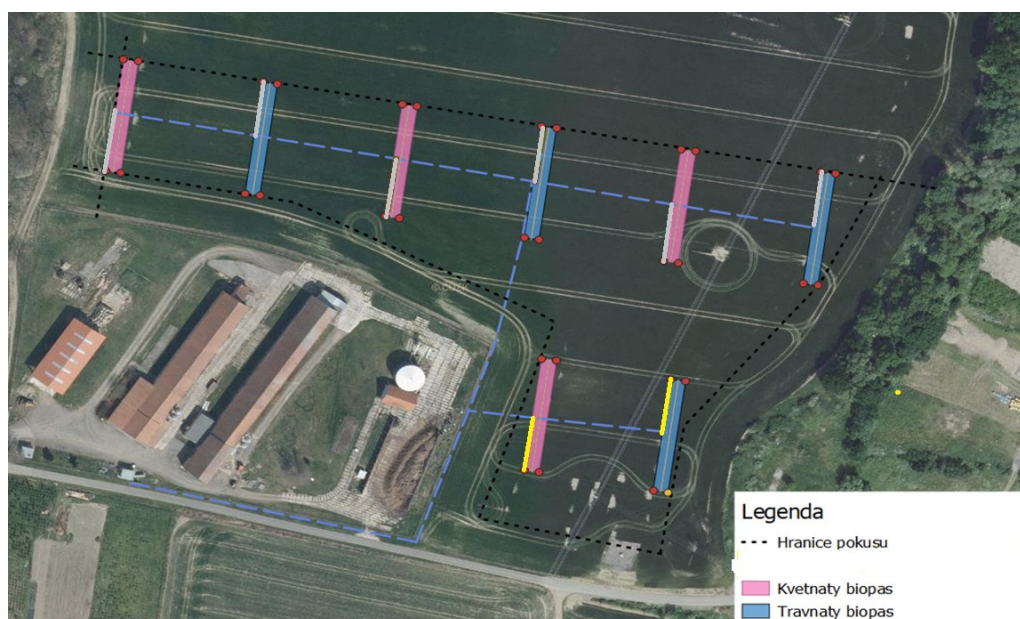
Následuje samotná realizační stavební fáze včetně elektroinstalace, po které je nutné provést revitalizaci půdy. Posledním krokem je získání revize na VBFS od revizních techniků distribučních společností, která umožní připojit VBFS do distribuční sítě.

Je možná i varianta elektrického “ostrovního” připojení (bez připojení do distribuční sítě), kde nemusíte získat kladné vyjádření distribuční společnosti.

14. Ověření simulace a skutečné VBFS

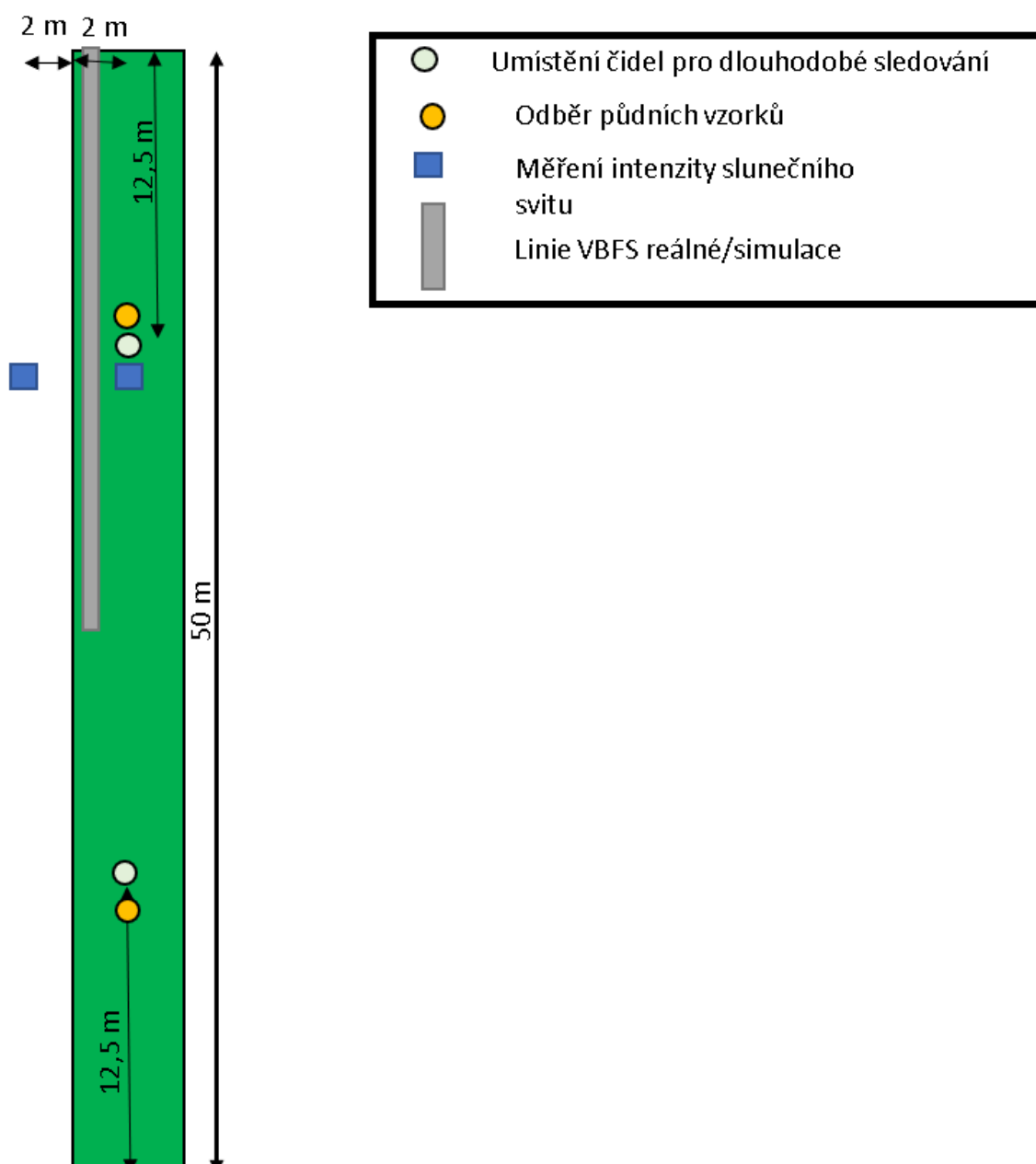
Výzkumné a experimentální činnosti na ověření validity se zaměřilo na následující oblasti – zemědělská a biodiverzitní. Metodicky bylo vedeno měření fyzikálních veličin – teploty vzduchu a půdy. Další sledované parametry nebyly do data sepsání certifikované metodiky hodnoceny či vyhodnoceny.

Pokusná lokalita je zobrazena na Obrázek 53. Šedou barvou jsou vyznačeny linie se skutečnými VBFS v biopásech (Biopás 1 až 6 – číslování je od západní strany), žlutě jsou označeny linie se simulacemi VBFS v biopásech (Biopás 7 a 8 – číslování je od západní strany).



Obrázek 53 Znáznornění linií skutečné VBFS (šedě zbarvené linie) a simulované VBFS (žlutě zbarvené linie) na pokusné lokalitě v Zavidově

Na pokusné lokalitě byla umístěna čidla a snímače na záznam teploty a vlhkosti půdy a vzduchu na obou variantách reálná/simulace VBFS. Byly měřeny biopásy 1 a 2 (reálná VBFS) společně s biopásy 7 a 8 (simulace VBFS) po celé zvolené období 20.12.2024 – 1.4.2025. Teplota půdy byla sledována v hloubce půdy 10 a 20 cm a teplota vzduchu 30 cm nad povrchem půdy.



Obrázek 54 schéma umístění čidel pro měření teploty a vlhkosti půdy, teploty vzduchu a intenzity slunečního svitu

Vždy byly porovnány tři varianty – kontrola (biopásy bez zastínění a ovlivnění VBFS) , simulace (simulace nahrazující VBFS) a VBFS (skutečná VBFS se dvěma řadami panelů).

Vyhodnocení měření teploty ve 30 cm nad zemí (bez porostu) vedlo k následujícím závěrům (Obrázek 55). Nejvyšší rozdíl v průměrných teplotách byl mezi variantami VBFS a kontrolou ve výši 0,54°C.

Teploty 30 cm nad povrchem země					
	Kontrola	VBFS		Simulace	
	°C	°C	Rozdíl vůči kontrole °C	°C	Rozdíl vůči kontrole °C
Průměr	1,29	1,83	0,54	1,69	0,39
Směrodatná odchylka	5,36	5,37	0,01	5,43	0,07
Modus	0,75	2,00	1,25	0,75	0,00
Rozptyl	28,78	28,86	0,08	29,51	0,73
Maximum	21,69	21,75	0,06	21,75	0,06
Minimum	-15,75	- 14,44	1,31	-14,06	1,69
Rozdíl MAX- MIN	37,44	36,19	-1,25	35,81	-1,63

Obrázek 55 Rozdíl mezi variantami na pokusné ploše v Zavidově pro teploty ve výšce 30 cm nad zemí

Vyhodnocení měření teploty v hloubce 10 cm pod zemí (bez porostu) vedlo k následujícím závěrům (Obrázek 56). Nejvyšší rozdíl v průměrných teplotách byl mezi variantami VBFS a kontrolou ve výši 0,08°C.

Teploty 10 cm pod povrchem země					
	Kontrola	VBFS		Simulace	
	°C	°C	Rozdíl vůči kontrole °C	°C	Rozdíl vůči kontrole °C
Průměr	1,76	1,68	-0,08	1,84	0,08
Směrodatná odchylka	2,28	2,28	0,00	2,41	0,13
Medián	0,50	0,35	-0,15	0,44	-0,06
Rozptyl	5,22	5,21	-0,01	5,8	0,58
Maximum	9,75	9,06	-0,69	9,63	-0,12
Minimum	-0,28	-0,19	0,09	-0,28	0,00
Rozdíl MAX-MIN	10,03	9,25	-0,78	9,91	-0,12

Obrázek 56 Rozdíl mezi variantami na pokusné ploše v Zavidově pro teploty v hloubce 10 cm pod zemí

Vyhodnocení měření teploty v hloubce 20 cm pod zemí (bez porostu) vedlo k následujícím závěrům (Obrázek 57). Nejvyšší rozdíl v průměrných teplotách byl mezi variantami VBFS a kontrolou ve výši 0,06°C.

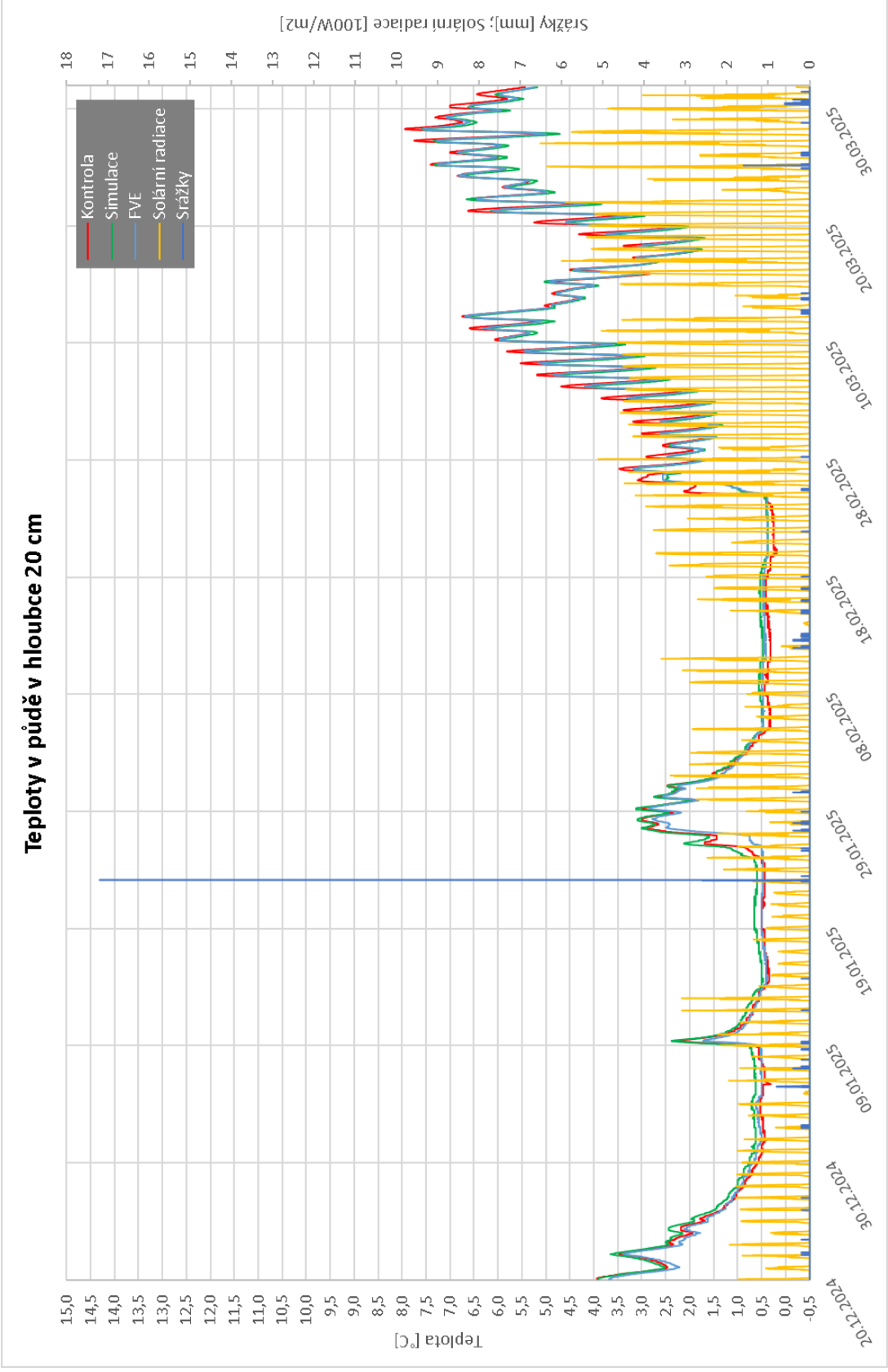
Teploty 20 cm pod povrchem země					
	Kontrola	VBFS		Simulace	
	°C	°C	Rozdíl vůči kontrole °C	°C	Rozdíl vůči kontrole °C
Průměr	2,07	2,00	-0,06	2,07	0,01
Směrodatná odchylka	1,92	1,99	0,07	2,06	0,14
Medián	1,10	0,88	-0,22	1,03	-0,06
Rozptyl	3,67	3,95	0,28	4,26	0,59
Maximum	7,59	7,56	-0,03	7,94	0,35
Minimum	0,38	0,38	0,01	0,19	-0,19
Rozdíl MAX-MIN	7,22	7,18	-0,03	7,76	0,54

Obrázek 57 Rozdíl mezi variantami na pokusné ploše v Zavidově pro teploty v hloubce 20 cm pod zemí

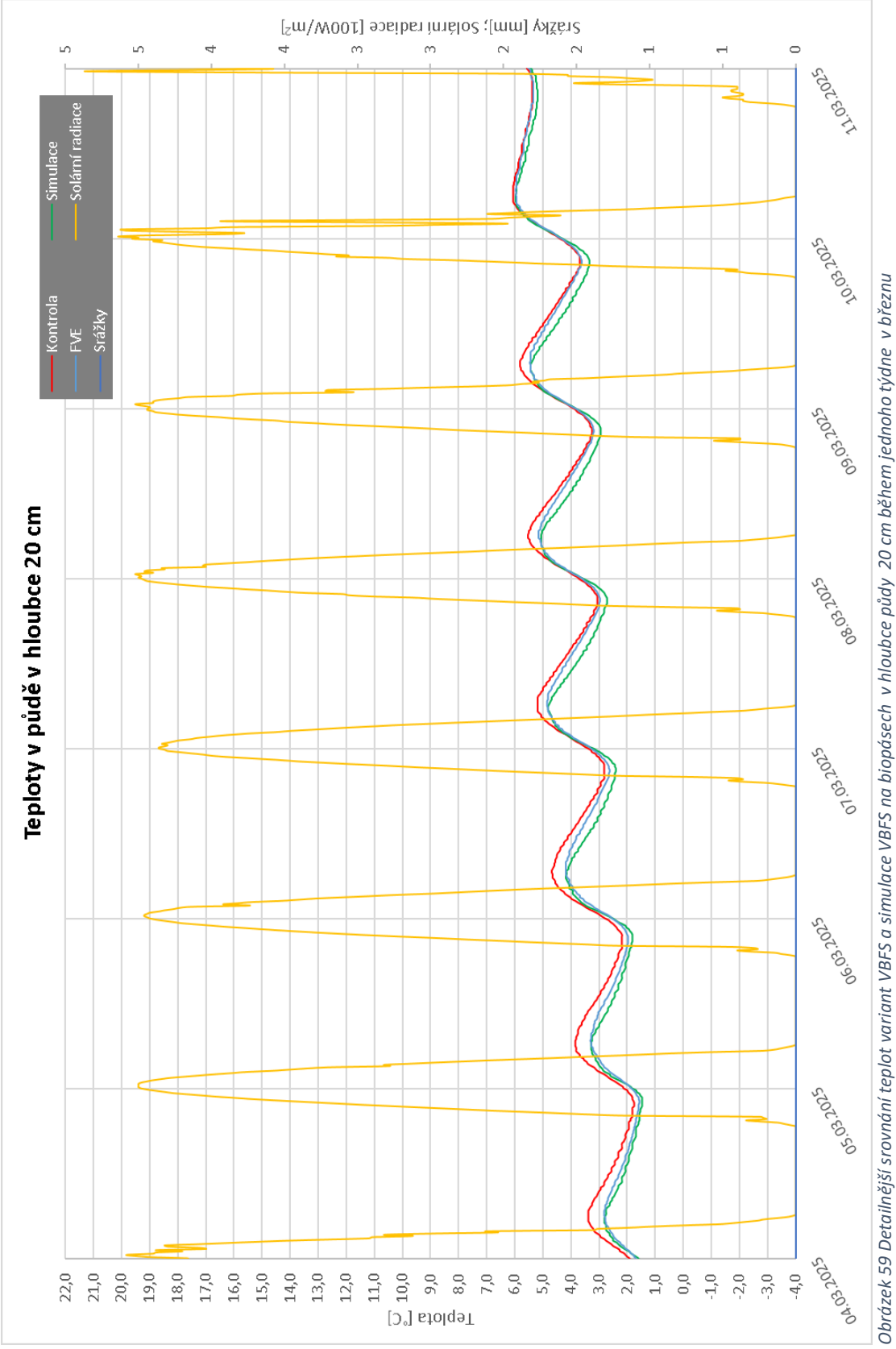
Na obrázcích (Obrázek 58, Obrázek 59, Obrázek 60 a Obrázek 61) jsou graficky znázorněny naměřené hodnoty ve formě křivek průběhu teplot v půdě v různých hloubkách. Je pozorovatelný předpokládaný průběh hodnot, kdy se teplota v půdě zvyšuje a snižuje s ohledem na hodnoty solární radiace. Zároveň průběh křivky teplot v hloubce 20 cm je, také dle očekávání, plošší a bez větších teplotních extrémů než průběh v hloubce 10 cm, kde je nárůst a pokles teploty strmější. Při porovnání teplot v půdě v hloubce 10 cm na stanovišti v biopásech - kontroly, simulace VBFS a VBFS, jsou teplotní rozdíly zanedbatelné. Průměrná teplota sledovaného období na kontrolní variantě je 1,84 °C, na variantě simulaci VBFS je 1,76 °C a na variantě s VBFS je 1,68 °C. Tento průběh je přisouzen klimatickým podmínkám ve sledovaném období zimy a brzkého jara, kdy povrch půdy množství dopadající solární energie je nižší. Lze předpokládat, že během letních měsíců bude rozdíl teplot vyšší ve prospěch VBFS, které bude nutné ověřit. Počátek trendu vyššího rozdílu je pozorovatelný z grafu týdenního průběhu od 4.3.2025, kde ve variantě simulace VBFS a oblasti VBFS je viditelný nárůst teplot v hloubce 10 cm v půdě až do zastínění umístěných čidel VBFS. U varianty kontroly nadále dochází k nárůstu teploty v hloubce 10 cm v půdě. Pro teploty v hloubce 20 cm je trend vývoje obdobný. Z grafu od 4.3.2025 je rovněž jasně patrné, že maximální teplota v půdě v hloubce 10 cm je u varianty VBFS nižší než varianty simulace VBFS.

U křivek grafu (Obrázek 62 a Obrázek 63) je znázorněn průběh teplot vzduchu a je opět viditelná závislost teploty na solární radiaci. Průměrná teplota sledovaného období na kontrolní variantě je 1,69 °C, na variantě simulaci VBFS je 1,29 °C a na variantě s VBFS je 1,83 °C. Z průběhů teplot začátkem března, kdy už bylo více slunečných dnů s větší sluneční aktivitou je vidět podstatný pokles teplot v poledních a brzkých odpoledních teplotách ve variantě simulace VBFS a VBFS.

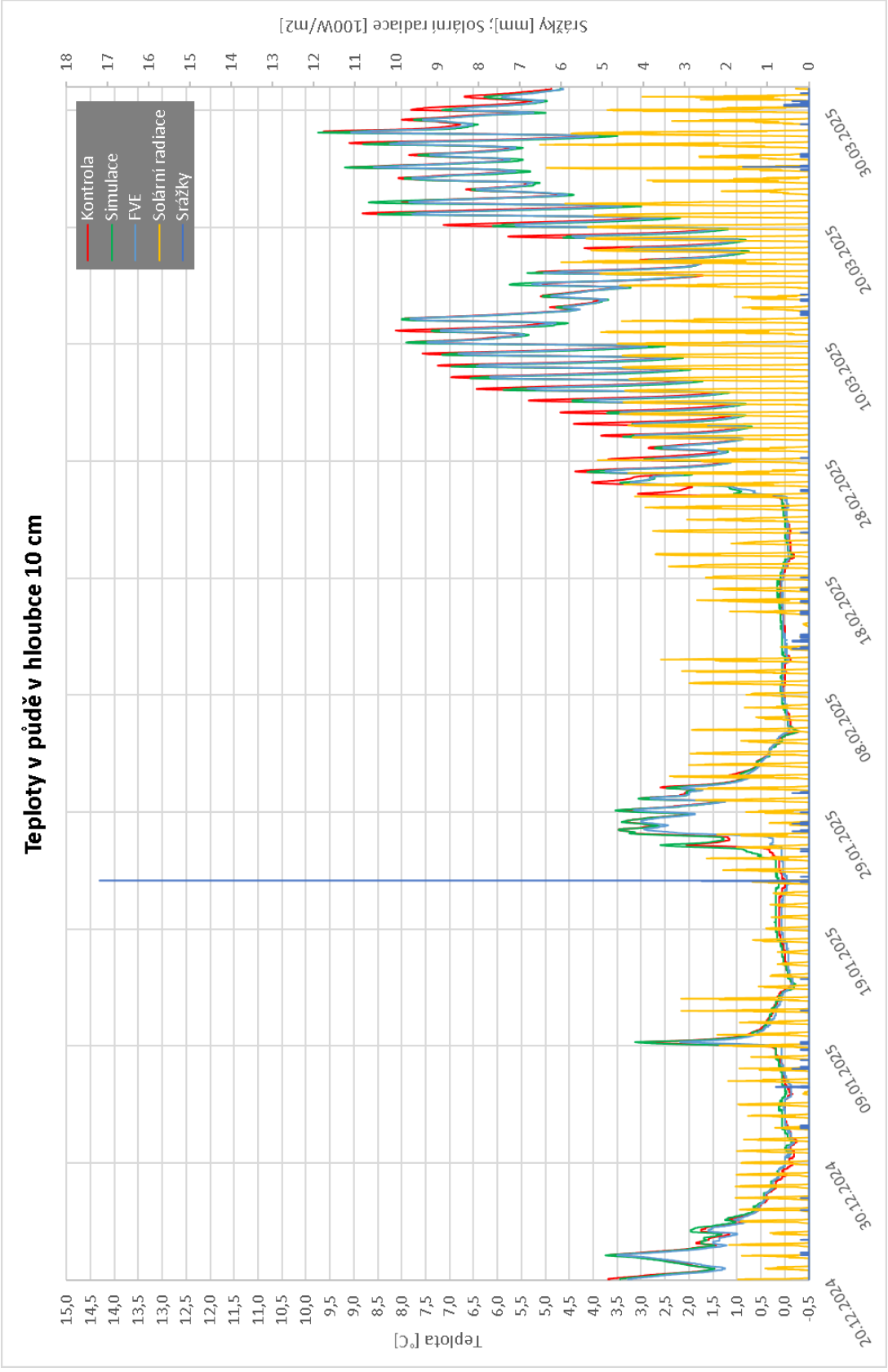
Je atypické, že teploty v půdě rostou pomaleji u varianty s VBFS než u varianty simulace VBFS a současně v odpoledních hodinách pomaleji klesají teploty. Příčina není plně zjištěn a ověřena.



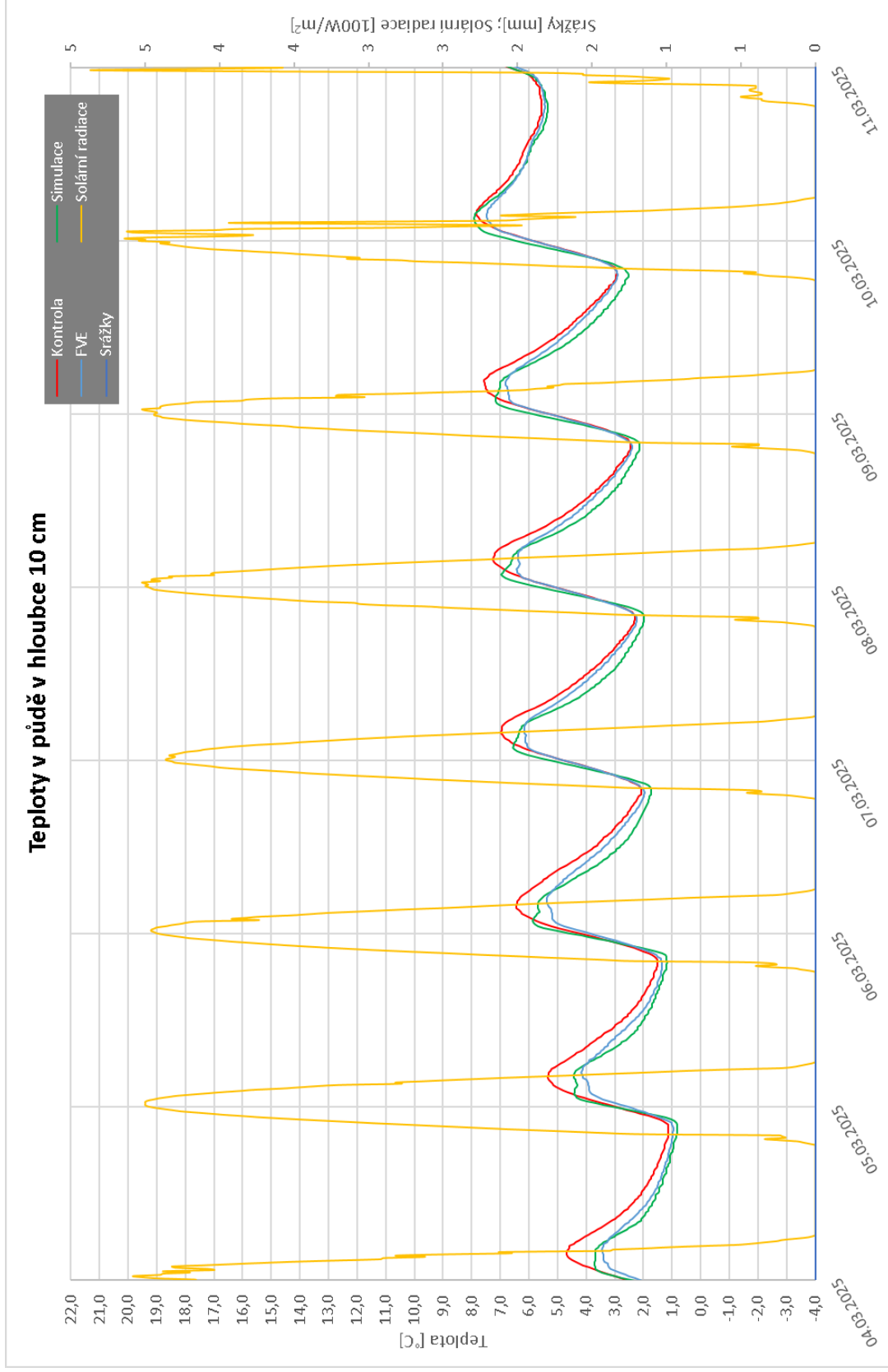
Obrázek 58 Srovnání teplot variant VBFS a simulace VBFS na sledované období 20.12.2024 -30.3.2025



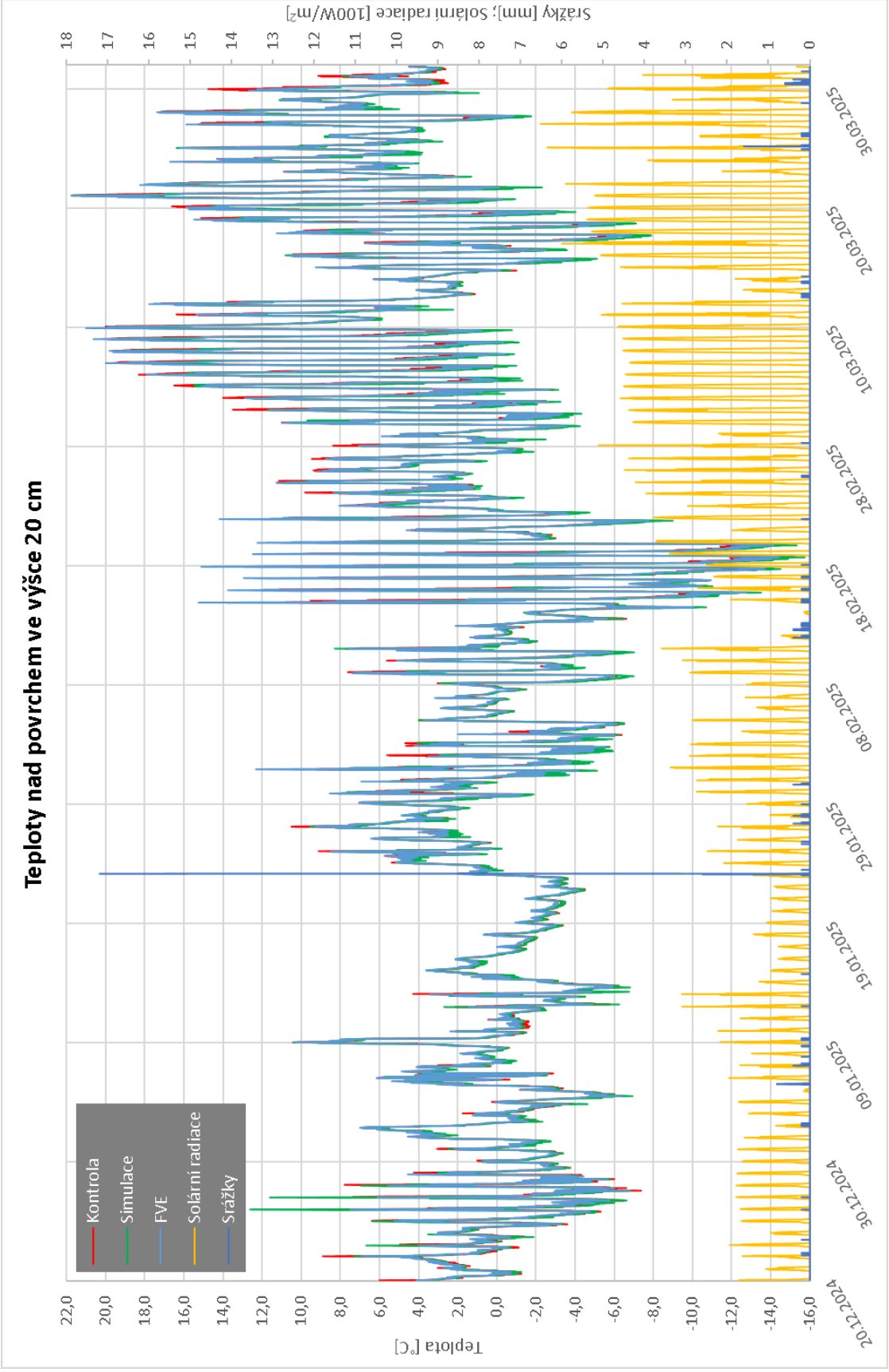
Obrázek 59 Detailnější srovnání teplot variant VBFS a simulace VBFS na biopásech v hloubce půdy 20 cm během jednoho týdne v březnu



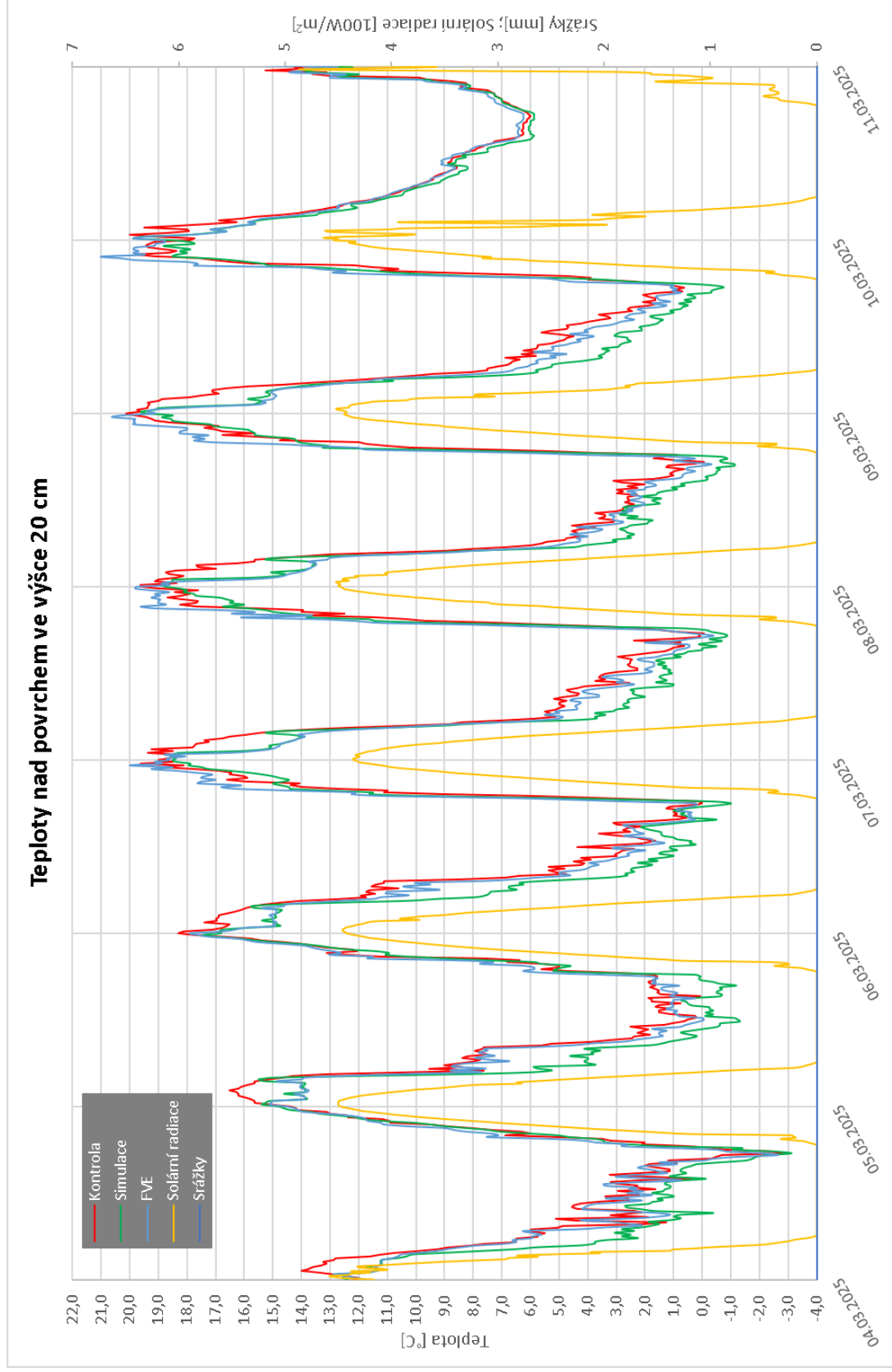
Obrázek 60 Srovnání teplot variant VBFS a simulace VBFS na biopásech v hloubce půdy 10 cm za sledované období 20.12.2024 -30.3.2025



Obrázek 61 Detailnější srovnání teplot variant VBFS a simulace VBFS na biopásech v hloubce půdy 10 cm během jednoho týdne v březnu



Obrázek 62 Srovnání teplot variant VBFS a simulace VBFS na biopásech ve výšce 20 cm nad zemí za sledované období 20.12.2024 -30.3.2025



Obrázek 63 Detailnější srovnání teplot variant VBFS a simulace VBFS na biopásech 20 cm nad povrchem země během jednoho týdne v březnu

Pro vyhodnocení dat naměřených s využitím simulací s ohledem na jejich relevanci jako stanovení vlivu skutečné elektrárny na biodiverzitu, využijeme dat naměřených pokusné lokalitě v Zavidově. Na základě těchto měření bylo zjištěno, že průměrný rozdíl v teplotě během části dne, kdy instalace zastiňovaly porost, byla menší než 0.6 °C. Takový rozdíl považujeme vzhledem k odchytu hmyzu a měření vegetace za zanedbatelný. Svůj závěr opíráme o následující kalkulace, které vycházejí ze známých mechanismů působení teploty na hmyz.

Saska et al. (2013) formuloval model vlivu teploty na velikost odchytu epigeických členovců s využitím střevlíkovitých brouků jako modelové skupiny. Na základě exponenciální povahy působení teploty na biologické systémy byl formulován model

$$n_1 = n_2 \exp(r(T_1 - T_2))$$

kde n_1 a n_2 představují velikosti odchytu za teplot T_1 a T_2 , a r je faktor změny velikosti odchytu při změně teploty. Na základě 36 dostupných datových řad byla hodnota faktoru r experimentálně stanovena na 0.0863. Při změně teploty o 10 °C tak odchyt naroste 2.37x:

$$Q_{10} = \exp \exp (10 * 0.0863) = 2.37$$

Při zjištěné průměrné změně v teplotě pod simulací a skutečným FV panelem v hodnotě 0.54 °C lze vztah pro Q_{10} modifikovat na:

$$Q_{0.35} = \exp \exp (0.35 * 0.0863) = 1.048$$

Tedy, velikost odchytu by se při změně teploty o půl stupně změnila 1.05x, což představuje zanedbatelný rozdíl.

V případě létajícího hmyzu je v rozmezí ekologicky relevantních teplot vliv teploty na aktivitu minoritní, jelikož řada skupin dominantně odchytávaných pomocí misek (zejména dvoukřídlí, blanokřídlí) dokáže aktivně termoregulovat na základě činnosti létacích svalů. Nelze tedy očekávat efekt tak malého rozdílu v teplotě na pozorované složení společenstev létajícího hmyzu.

Vliv rozdílné teploty na rostliny lze očekávat u klíčení, přičemž úspěšnost klíčení a uchycení semenáčků je jedním z faktorů ovlivňujících složení lokálního společenstva. Honěk et al. (2014) doložili, že nejčastější termální okno pro klíčení bylin, včetně plevelů, je v rozsahu 23 °C. Pozorovaný rozdíl v hodnotě 0.54 °C tedy nemůže rostlinná společenstva v časovém horizontu

odpovídajícímu výzkumnému projektu obvyklé doby řešení tří let nijak ovlivnit. Mikroklima je samozřejmě pro rostlinná společenstva důležité, ale tento vliv zpravidla interaguje v dlouhodobém časovém horizontu s dalšími charakteristikami stanoviště, jako je svažitosť, expozice, půdní vlastnosti nebo jeho historie, a v případě řízených ekosystémů i s aktuálním managementem.

V případě studia biodiverzity tedy považujeme použití simulací za dostatečně odůvodněné pro působení reálných fotovoltaických panelů VBFS. Detailně jsou zpracovány v následném výsledku J_{scop} .

V podmínkách ČR vzhledem k běžně pěstovaným plodinám (obilniny, olejniny, popř. luskoviny) dochází k ovlivnění hlavních výnosotvorných prvků zejména v jarním období (Hejnák et al., 2005). V letním období je naopak vegetace již ukončena, popř. dochází v pozdním létě již k zakládání budoucích porostů. V rámci instalace bifaciálních panelů tak nedochází k silné časové korelaci mezi nejvyšší produkcí elektřiny panely a tvorbě výnosu plodin. Výrazně vyšší ovlivnění by bylo zaznamenáno např. při pěstování některých druhů zeleniny, brambor apod. Ovlivnění výnosových prvků u rostlin v rámci biopásů je rovněž vyšší díky ponechání vegetace na pozemku. Nicméně primárním účelem biopásů není tvorba výnosů, ale zvýšení biodiverzity.

III. Srovnání novosti postupů

Ucelená metodika pro výstavbu agrovoltických elektráren na polích v kombinaci s biopásy dle zásad AEKO v zemědělských podnicích dosud neexistovala. Jedná se o komplexní multidisciplinární problematiku, která je za současných legislativních a finančních podmínek velmi obtížně zemědělskými podniky realizovatelná. V zemědělské praxi se již běžně používají biopásy, avšak nemůže být na biopásech realizována výstavba VBFS bez velmi komplikovaného procesu schvalování, což většina zemědělských podniků nemá ochotu podstupovat. Bylo tedy nutné zjistit skutečnost o založení biopásů, postupu a procesu povolení realizace experimentální konstrukce VBFS včetně nastavení parametrů, samotná realizace, agrotechnické postupy a jejich vlivu. V Evropě převažuje trend menších agrovoltických elektráren v řádu hektarů, bude zajímavé, zda ě nastoupí na tento trend či dojde k velkým instalacím agrovoltaiky v řádu desítek, ne-li stovek hektarů. Realizace projektu proběhla v jednotlivých fázích, které byly velmi náročné a komplikované, zejména z hlediska schvalovacího, realizačního a koordinačního. Samotná realizace VBFS s biopásy prokázala schopnost realizace bez snížení výnosu a kvality zrna, přítomnost simulace (a i skutečné) VBFS nijak zásadně neovlivnila pozitivní efekt biopásů na společenstva rostlin a sledovaných skupin bezobratlých. Koncepce je realizovatelná s návratností dle výkupní ceny elektřiny v horizontu 15-22 let při instalovaném výkonu 49,95kWp a délce VBFS 25 m v osmi řadách, přestože na základě spotových cen se dostáváme na dobu návratnosti 25,4 let. Životnost VBFS činí 20 let. Úpravou délky VBFS se dostaneme na nižší návratnost vložených prostředků, bude nutné do budoucna navrhnout maximální nepřerušovanou délku řad VBFS, aby byl umožněn pohyb strojů, lidí a zvířat na poli. Pro využití plného potenciálu je nutnou podmínkou i úprava podmínek AEKO pro zemědělské podniky, zejména doba, po kterou může být biopás umístěn na jedné lokalitě na DPB. Postupy uvedené v této metodice by měly posloužit jako návod pro zemědělské podniky, MZe, zemědělské spolky a další, jak z hlediska samotné realizace, tak i pro změnu předpisů a norem.

IV. Popis uplatnění metodiky

Smlouva o uplatnění certifikované metodiky byla uzavřena se společností Stradlova s.r.o. Certifikovaná metodika bude uplatněna a použita v zemědělských podnicích se zájmem o agrovoltaiku realizovatelnou na polích v kombinaci s obilovinami a biopásky. Současně certifikovanou metodiku mohou využít i různé zemědělské spolky, MZe a další jako výchozí materiál pro změny týkající se realizace VBFS na orné půdě s polními plodinami. Zemědělci budou s metodikou seznámeni na vzdělávacích a informačních akcích pořádané účastníky projektu. Certifikovaná metodika bude využívána při poradenské činnosti autorů i pro informování poradců, jejichž prostřednictvím bude dále šířena do zemědělských podniků. Metodika bude ke stažení na webových stránkách www.carc.cz a dále bude k dispozici v rámci akcí CARC, v.v.i., jako jsou polní dny a odborné semináře pro zemědělskou veřejnost.

V. Ekonomické aspekty

Vstupní kapitál na výstavbu VBFS je velmi vysoký, pro prvotní náklady ve výši 1,8 mil Kč a instalovaném výkonu 49,95 kWp se jedná o náklady 36 036 Kč.kWp⁻¹ instalovaného výkonu. Jelikož se jedná o experimentální výstavbu VBFS, můžeme mluvit o nákladech maximálních než běžných. Na pořizovací cenu má samozřejmě vliv prostorové uspořádání, včetně délky vedení kabelů od přípojných míst (rozvaděčů) přes pole do jednotlivých řad VBFS včetně použité elektro vybavení, typu panelů apod. Momentálně není plně dořešena otázka oplocení linií VBFS, která zvyšuje náklady a není úplně v souladu s myšlenkou agrovoltaiky. Samotné náklady na schvalovací procesy jsou také významné, a to zejména z hlediska časového.

Z hlediska zemědělských nákladů se jedná o navýšení vstupů na tvorbu biopásů, jejich obsluhu, také navýšení náročnosti jednotlivých agrotechnických postupů na poli. V případě experimentální VBFS se jedná i o navýšení prací za údržbu biopásů kolem VBFS ohraničené plotem (ohradníky), které se musejí provádět ručně.

Přesto VBFS umožňuje diverzifikovat zemědělcům příjem z pole, který je každoročně pravidelný. Následné využití elektřiny, buď pro vlastní účely (úspora zejména v části distribuční ceny elektřiny a méně již v části silové elektřiny – průměrná cena elektřiny pro rok 2025 činí 6,-Kč.kWh⁻¹ stav ke dni 31.5.2025) nebo pro vlastní prodej v komunitní energetice či prodej do distribučních sítí. Proto byl zvolen zjednodušený model výpočtu pro návratnost vložených prostředků do VBFS, který se pohybuje v rámci 15-25 let. Velmi významnou výhodou bude pro zemědělské podniky zkombinovat VBFS s formou akumulace energie, nejlépe sezónní, pro vlastní další využití.

VI. Seznam použité související literatury

- Adeh, E. H., Good, S. P., Calaf, M., & Higgins, C. W. (2019). Solar PV power potential is greatest over croplands. *Scientific reports*, 9(1), 1-6.
- Amaducci, S., Yin, X., & Colauzzi, M. (2018). Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. *Applied energy*, 220, 545-561.
- Barron-Gafford, G.A., Pavao-Zuckerman, M.A., Minor, R.L., Sutter, L.F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D.T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A.K., Nabhan, G.P. and Macknick, J.E., 2019. Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), pp.848-855.
- Bokelmann, W., Dornberg, A., Schwerdtner, W., Kuntosch, A., Busse, M., König, B., Siebert, R., Koschatzky, K. and Stahlecker, T. (2012). Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft.
- Böhm, J. & Tietz, A. (2022). Abschätzung des zukünftigen Flächenbedarfs von Photovoltaik-Freiflächenanlagen.
- Campana, P. E., Stridh, B., Amaducci, S., & Colauzzi, M. (2021). Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, 325, 129091.
- Campana, P.E., Stridh, B., Hörndahl, T., Svensson, S.E., Zainali, S., Lu, S.M., Zidane, T.E.K., De Luca, P., Amaducci, S. and Colauzzi, M., 2024. Experimental results, integrated model validation, and economic aspects of agrivoltaic systems at northern latitudes. *Journal of Cleaner Production*, 437, p.140235.
- Dipta, S. S., Schoenlaub, J., Rahaman, M. H., & Uddin, A. (2022). Estimating the potential for semitransparent organic solar cells in agrophotovoltaic greenhouses. *Applied Energy*, 328, 120208.
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable energy*, 36(10), 2725-2732.
- Edouard, S., Combes, D., Van Iseghem, M., Tin, M. N. W., & Escobar-Gutiérrez, A. J. (2023). Increasing land productivity with agriphotovoltaics: Application to an alfalfa field. *Applied Energy*, 329, 120207.
- Elamri Y, Cheviron B, Lopez JM, Dejean C, Belaud G. Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: Application to irrigated lettuces. *Agric. Water Manag.* 2018;208(October 2017):440–453.
- Elamri, Y., Cheviron, B., Lopez, J. M., Dejean, C., & Belaud, G. (2018). Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems: Application to irrigated lettuces. *Agricultural water management*, 208, 440-453.
- Ferrara, G., Boselli, M., Palasciano, M., & Mazzeo, A. (2023). Effect of shading determined by photovoltaic panels installed above the vines on the performance of cv. Corvina (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 308, 111595.
- Fumey, D. ed. (2023) Dynamic agrivoltaics, climate protection for grapevine driven by artificial intelligence. *IVES Conference Series, GiESCO 2023*.

Gastal, F., Fernandez, L., Louarn, G., Julier, B., Barradas, A., Crespo, D., & Godinho, B. (2015, November). Les mélanges de variétés méditerranéennes/tempérées comme stratégie d'adaptation des espèces fourragères au changement climatique? In *Colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie (métaprogramme ACCAF)* (pp. 223-p). INRA.

Gommers, C. M., Visser, E. J., St Onge, K. R., Voesenek, L. A., & Pierik, R. (2013). Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in plant science*, 18(2), 65-71.

Gonocruz, R.A., Nakamura, R., Yoshino, K., Homma, M., Doi, T., Yoshida, Y. and Tani, A., 2021. Analysis of the rice yield under an Agrivoltaic system: A case study in Japan. *Environments*, 8(7), p.65.

Hejnak V. et al. (2005). *Fyziologie rostlin*. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-1341-2.

Hilker, J. M., Busse, M., Müller, K., & Zscheischler, J. (2024). Photovoltaics in agricultural landscapes: “Industrial land use” or a “real compromise” between renewable energy and biodiversity? Perspectives of German nature conservation associations. *Energy, Sustainability and Society*, 14(1), 6.

Honek, A., Martinkova, Z., LUKAS, J. a Dixon, A. F. G. (2014) Plasticity of the thermal requirements of exotherms and adaptation to environmental conditions. *Ecology and Evolution*, 4, 3103-3112.

Chalgynbayeva, A., Gabnai, Z., Lengyel, P., Pestisha, A., & Bai, A. (2023). Worldwide research trends in agrivoltaic systems—a bibliometric review. *Energies*, 16(2), 611.

Chelle M, Andrieu B. The nested radiosity model for the distribution of light within plant canopies. *Ecol Modell* 1998;111(1):75–91.

Jo, H., Asekova, S., Bayat, M.A., Ali, L., Song, J.T., Ha, Y.S., Hong, D.H. and Lee, J.D., 2022. Comparison of yield and yield components of several crops grown under agro-photovoltaic system in Korea. *Agriculture*, 12(5), p.619.

Ketzer, D., Weinberger, N., Rösch, C., & Seitz, S. B. (2020). Land use conflicts between biomass and power production—citizens’ participation in the technology development of Agrophotovoltaics. *Journal of Responsible Innovation*, 7(2), 193-216.

Kim, Y., Kim, S., & Kim, S. (2023). An integrated agent-based simulation modeling framework for sustainable production of an Agrophotovoltaic system. *Journal of Cleaner Production*, 420, 138307.

Ko, J., Cho, J., Choi, J., Yoon, C. Y., An, K. N., Ban, J. O., & Kim, D. K. (2021). Simulation of crop yields grown under agro-photovoltaic panels: A case study in chonnam province, south korea. *Energies*, 14(24), 8463.

Lee, S., Lee, J.H., Jeong, Y., Kim, D., Seo, B.H., Seo, Y.J., Kim, T. and Choi, W., 2023. Agrivoltaic system designing for sustainability and smart farming: Agronomic aspects and design criteria with safety assessment. *Applied Energy*, 341, p.121130.

Lee, H. J., Park, H. H., Kim, Y. O., & Kuk, Y. I. (2022). Crop cultivation underneath agro-photovoltaic systems and its effects on crop growth, yield, and photosynthetic efficiency. *Agronomy*, 12(8), 1842.

Leon, A., & Ishihara, K. N. (2018). Assessment of new functional units for agrivoltaic systems. *Journal of environmental management*, 226, 493-498.

Ma, Y. H. (2022). *Techno-economic analysis of agrivoltaics installations for greenhouses in Sweden* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Majumdar, D., & Pasqualetti, M. J. (2018). Dual use of agricultural land: Introducing 'agrivoltaics' in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA. *Landscape and urban planning*, 170, 150-168.

Marrou, H., Wéry, J., Dufour, L., & Dupraz, C. (2013). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66.

Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Wery, J. (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels. *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 117-132.

Marrou H, Wery J, Dufour L, Dupraz C. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur J Agron* 2013;44: 54–66.

Marrou, H., Dufour, L., & Wery, J. (2013). How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil–crop system? *European Journal of Agronomy*, 50, 38-51.

Mehta, K., Shah, M. J., & Zörner, W. (2024). Agri-PV (Agrivoltaics) in Developing Countries: Advancing Sustainable Farming to Address the Water–Energy–Food Nexus. *Energies*, 17(17), 4440.

Mengi, E., Samara, O. A., & Zohdi, T. I. (2023). Crop-driven optimization of agrivoltaics using a digital-replica framework. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100168.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ TĚŠNOV 17, 110 00 PRAHA 1 WWW.EAGRI.CZ, E-MAIL: INFO@MZE.CZ. *Metodika k provádění nařízení vlády č. 75/2015 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálně-klimatických opatření a o změně nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření, ve znění pozdějších předpisů pro rok 2022* [online]. In: . UNIPRESS, spol. s r. o, 2022, s. 128 [cit. 2025-05-30]. ISSN 978-80-7434-645-3. Dostupné z: https://mze.gov.cz/public/portal/mze/-q310777---sWLn2EUj/metodika-k-provadeni-narizeni-vlady-c-75?_linka=a218293

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ TĚŠNOV 17, 110 00 PRAHA 1 WWW.EAGRI.CZ, E-MAIL: INFO@MZE.CZ. *Metodika k provádění nařízení vlády č. 330/2019 Sb., o podmínkách provádění navazujících agroenvironmentálně-klimatických opatření, ve znění pozdějších předpisů. pro rok 2022*. In: . UNIPRESS, 2022, s. 116. ISSN 978-80-7434-640-8. Dostupné také z: https://mze.gov.cz/public/portal/mze/-q310775---iT-feuqk/metodika-k-provadeni-narizeni-vlady-c?_linka=a218291

Nassar, A., Perez-Wurfl, I., Roemer, C., & Hameiri, Z. (2020). *Improving Productivity of Cropland through Agrivoltaics*.

Niinemets, Ü., & Valladares, F. (2004). Photosynthetic acclimation to simultaneous and interacting environmental stresses along natural light gradients: optimality and constraints. *Plant Biology*, 6(03), 254-268.

Parkinson, S., & Hunt, J. (2020). Economic potential for rainfed agrivoltaics in groundwater-stressed regions. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(7), 525-531.

Perna, A., Grubbs, E. K., Agrawal, R., & Bermel, P. (2019, June). Design considerations for agrophotovoltaic systems: Maintaining PV area with increased crop yield. In *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (pp. 0668-0672). IEEE.

Pradal C, Dufour-kowalski S, Fr'ed'eric B, Christian F, and Godin C. "OpenAlea : a visual programming and component-based software platform for plant modelling," pp. 751–760, 2008.

Prakash, V., Lunagaria, M. M., Trivedi, A. P., Upadhyaya, A., Kumar, R., Das, A., ... & Kumar, Y. (2023). Shading and PAR under different density agrivoltaic systems, their simulation and effect on wheat productivity. *European Journal of Agronomy*, 149, 126922.

Reher, T., Lavaert, C., Willockx, B., Huyghe, Y., Bisschop, J., Martens, J.A., Diels, J., Cappelle, J. and Van de Poel, B., 2024. Potential of sugar beet (*Beta vulgaris*) and wheat (*Triticum aestivum*) production in vertical bifacial, tracked, or elevated agrivoltaic systems in Belgium. *Applied Energy*, 359, p.122679.

Riaz MH, Imran H, Younas R, Butt NZ. The optimization of vertical bifacial photovoltaic farms for efficient agrivoltaic systems. *Sol Energy* 2021;230 (November):1004–12.

Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., ... & Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, 1(2), 94-97.

Ruberti, I., Sessa, G., Ciolfi, A., Possenti, M., Carabelli, M., & Morelli, G. J. B. A. (2012). Plant adaptation to dynamically changing environment: the shade avoidance response. *Biotechnology advances*, 30(5), 1047-1058.

Saska, P., van der Werf, W., Hemerik, L., Luff, M.L., Hatten, T. D. a Honek, A. (2013). Temperature effects on pitfall catches of epigeal arthropods: a model and method for bias correction: a model and method for bias correction. *Journal of Applied Ecology*, 50: 181-189.

Scognamiglio, A. (2016). 'Photovoltaic landscapes': Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 629-661.

Sekiyama, T., & Nagashima, A. (2019). Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. *Environments*, 6(6), 65.

Sekiyama T, Nagashima A. Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. *Environ - MDPI* 2019;6(6):pp.

SEZNAM.CZ. Seznam mapy.com. SEZNAM.CZ. *Seznam mapy.com* [online]. 2025 [cit. 2025-05-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/s/hufugepede>

Shafiq, I., Hussain, S., Raza, M.A., Iqbal, N., Asghar, M.A., Ali, R.A.Z.A., Fan, Y.F., Mumtaz, M., Shoaib, M., Ansar, M. and Manaf, A., 2021. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(1), pp.4-23.

Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P. and Goetzberger, A., 2020. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265, p.114737.

Schindele, S. (2021). Nachhaltige Landnutzung mit Agri-Photovoltaik: Photovoltaikausbau im Einklang mit der Lebensmittelproduktion: Szenarioanalyse zur Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen durch Photovoltaik in Deutschland bis 2050. *GALA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 30(2), 96-105.

Schneider, A.K., Klabunde, F., Buck, L., Ohlhoff, M., Reis, L., Olvermann, M., Kauffeld, S., Engel, B., Glatzel, G., Schröder, B. and Frerichs, L. (2023). Drawing transformation pathways for making use of joint effects of food and energy production with biodiversity agriphotovoltaics and electrified agricultural machinery. *Journal of Environmental Management*, 335, p.117539.

Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C. and Williams, R., 2009. Beneficial biofuels—the food, energy, and environment trilemma. *Science*, 325(5938), pp.270-271.

Trommsdorff, M. ed. (2024): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende Ein Leitfaden für Deutschland. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Freiburg, 2024

Turnley, J. W., Grant, A., Schull, V. Z., Cammarano, D., Sesmero, J., & Agrawal, R. (2024). The viability of photovoltaics on agricultural land: Can PV solve the food vs fuel debate?. *Journal of Cleaner Production*, 469, 143191.

Valladares, F., & Niinemets, Ü. (2008). Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), 237-257.

Valle B, et al. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Appl Energy* 2017;206(October):1495–507.

Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., Ryckewaert, M. and Christophe, A., 2017. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied energy*, 206, pp.1495-1507.

Varella A, Moot D, Pollock K, Peri P, Lucas R. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agrofor Syst* 2011;81(2):157–73.

Victoria, M., Pullens, J., Torma, G., Lindhardt, M., Niazi, K., Jahangirlou, M., El Khoury, Y., Aschemann-Witzel, J., Ottosen, C.O. and Jørgensen, U., 2024. Vertical Agrivoltaics in a Temperate Climate: Exploring Technical, Agricultural, Meteorological, and Social Dimensions.

Vuichard, P., Stauch, A., & Wüstenhagen, R. (2021). Keep it local and low-key: Social acceptance of alpine solar power projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110516.

VÚMOP, V.V.I. EKatalog BPEJ. EKatalog BPEJ [online]. 2024 [cit. 2025-05-30]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz/>

Weselek, A., Bauerle, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., & Högy, P. (2021). Effects on crop development, yields and chemical composition of celeriac (*Apium graveolens* L. var. *rapaceum*) cultivated underneath an agrivoltaic system. *Agronomy*, 11(4), 733.

Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J., Zikeli, S., Lewandowski, I., & Högy, P. (2021). Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5), 59.

Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., & Högy, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-20.

Willockx B, Herteleer B, Cappelle J. Combining photovoltaic modules and food crops: first agrovoltaic prototype Combining photovoltaic modules and food crops: first agrovoltaic prototype in Belgium. *Renewable Energy* 2020; no. 563 June 2020.

Willockx, B., Reher, T., Lavaert, C., Herteleer, B., Van de Poel, B. and Cappelle, J., 2024. Design and evaluation of an agrivoltaic system for a pear orchard. *Applied Energy*, 353, p.122166.

World Bank, 2022. World Bank Annual Report 2022 (Washington, DC).

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy policy*, 35(5), 2683-2691.

Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., ... & Yang, W. (2014). Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far-red ratio. *Field Crops Research*, 155, 245-253.

Zhang, W., Yue, Z., Ma, H., Gao, Y., Liu, W., Huang, X., Zhang, L., Meng, X., Kribus, A., Vitoshkin, H. and Liu, W., 2024. Agricultural friendly single-axis dynamic agrivoltaics: Simulations, experiments and a large-scale application for Chinese solar greenhouses. *Applied Energy*, 374, p.123891.

