

PÄIKESEENERGIAJAAMADE MÕJUST OLULISEMATELE ELUPAIKADELE, ÖKOSÜSTEEMIDELE JA PEAMISTELE LIIGIRÜHMADELE NING EESTISSE SOBIVAD LEEVENDUSMEETMED



KESKKONNAAMET



Tartu, 2023

Töö on läbi viidud Keskkonnaameti tellimisel hankelepingu 5-1/22/139 „Päikeseparkide mõjust olulisematele elupaikadele, ökosüsteemidele ja peamistele liigirühmadele” alusel ning valmis Elurikkuse Agentuur OÜ ning [Tartu Ülikooli Maastike elurikkuse tööühma](#) koostöös. Töö osaks olev ülevaade põllumajandustegevuste ja päikeseenergiajaamade integreerimisvõimalustest valmis LIFE-IP projekti [ForEst&FarmLand/Loodusriikas Eesti](#) (“Metsa- ja põllumajandusmaastike terviklik majandamine Natura 2000 elupaikade ja liikide kaitsestaatus parandamiseks”, LIFE18 IPE/EE/000007) raames. Töö tulemuste tutvustamist sidusrühmadele ning vajalike infomaterjalide koostamist korraldab Eestimaa Looduse Fond projekti “Keskkonnahoidlik taastuenergia kasutuselevõtt Eestis” raames.



MAASTIKE
ELURIKKUSE
TÖÖRÜHM



KESKKONNAAMET



EESTIMAA LOODUSE FOND

Töö autorid:

Krista Takkis, *PhD*, ökoloog, elurikkuse ekspert. Taastamisökoloogia teadur, Tartu Ülikool

Aveliina Helm, *PhD*, vastutav täitja, ökoloog, maismaaökosüsteemide seisundi, leviku ja taastamise ekspert. Taastamisökoloogia professor, Tartu Ülikool

Töösse panustanud eksperdid:

Marko Mägi, *PhD*, linnustiku ekspert, Tartu Ülikooli linnuökoloogia teadur

Riinu Rannap, *PhD*, kahepaiksete ekspert, märgalade ökoloogia kaasprofessor, Tartu Ülikool

Jelle Devalez, *MSc*, tolmeldajate ekspert, Tartu Ülikool

Tanel Vahter, *PhD*, mulla-elustiku ekspert, mullaökoloogia teadur, Tartu Ülikool

Elisabeth Prangel, *MSc*, ökosüsteemiteenuste ekspert, doktorant, Tartu Ülikool

Triin Reitalu, *PhD*, maastike ekspert, taastamisökoloogia teadur, Tartu Ülikool

Oliver Kalda, *MSc*, käsitiivaliste ekspert, elurikkuse ja ökoloogilise jätkusuutlikkuse nooremteadur, Tartu Ülikool

Kristiina Jürisoo, *MSc*, põllumajanduse ekspert, taastava põllumajanduse spetsialist, Tartu Ülikool

Päikeseenergiajaamade rajamise ja päikeseenergia tootmise tehniliste aspektide ja leevendusmeetmete rakendatavuse osas konsulteerisime ekspertidega erinevatest päikese energiajaamade rajamisega tegelevatest ettevõtetest: **ENEFIT GREEN OÜ, Sunly OÜ, Taastuenergia OÜ, Smartecon OÜ, Helioest OÜ**. Suur tänu!

Töö koostajad tänavad tehnilise abi eest Linda Palli Tartu Ülikoolist.

Soovitav viitamine:

Takkis, K. & Helm, A. 2023. Päikeseenergiajaamade mõjust olulisematele elupaikadele, ökosüsteemidele ja peamistele liigirühmadele ning Eestisse sobivad leevendusmeetmed. Ülevaade. Valminud Keskkonnaameti tellimisel.

ISBN 978-9949-582-59-4 (pdf)

Kaanepilt: Visitors at a Westmill Solar Co-operative Open Day at Westmill Solar Park. Autor: Ben Cavanna, MrRenewables Westmill Solar Co-operative. Litsents: Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0.

Sisukord

Sisukord	3
Töö eesmärgid ja sisu	5
Töös kasutatud terminid ja nende ingliskeelsed vasted	5
Tehniline taust	6
Peatükk 1. Sissejuhatus. Elurikkad tootmismaastikud	7
Peatükk 2. Ülevaade päikeseenergiajaamade mõjust olulisematele elupaikadele ja ökosüsteemidele	9
2.1 Mõju metsaökosüsteemidele	10
2.2 Mõju soodele ja soostunud aladele	10
2.3 Mõju pärandniitudele kaitsealadel ja väljaspool kaitstavaid alasid	11
2.4 Mõju kultuurrohumaaaladele	11
2.5 Mõju muudele avatud aladele maastikus	12
2.6 Mõju põllumajanduslikele ökosüsteemidele	12
2.7 Mõju maastikele	13
2.7.1 Maastikuvaated, rekreatsioon	13
2.8 Mõju veekogudele ja põhjaveele	13
2.8.1 Ujuvad päikeseenergiajaamad	14
2.9 Mõju mullale	15
2.10 Mõju looduse hüvedele	16
2.10.1 Süsiniku sidumine ja varu	16
2.10.2 Vee- ja aineringe	17
2.10.3 Tolmeldamine ja looduslik kahjuritõrje	17
2.10.4 Mikro- ja mesokliima	17
2.11 Mõju inimestele	19
Peatükk 3. Ülevaade päikeseenergiajaamade mõjust peamistele liigirühmadele	20
3.1 Mõju soontaimedele	20
3.2 Mõju putukatele, sh tolmeldajatele	21
3.3 Mõju lindudele	22
3.4 Mõju imetajatele, sh käsitiivalistele	23
3.5 Mõju kahepaiksetele	24
3.6 Mõju mullaelustikule	24
Peatükk 4. Päikeseenergiajaamade rajamise ruumilise planeerimise põhimõtted	25
4.1 Ruumilise planeerimise tööriistad ja kaardikihid	25
4.2 Kuhu päikeseenergiajaamu mitte rajada	27
4.3 Kuhu päikeseenergiajaamu pigem võiks rajada	30

Peatükk 5. Päikeseenergiajaamade rajamise hea tava ja leevendusmeetmete hierarhia	33
5.1 Päikeseenergiajaamade rajamise hea tava	33
5.2 Keskkonnamõjude leevendusmeetmete hierarhia	34
Peatükk 6. Loodussõbralikud tehnilised lahendused ja praktikad päikeseenergiajaamade rajamisel ja hooldamisel	36
6.1 Planeerimine ja ehitamine	36
6.1.1 Maastike ja liikide hoidmine	36
6.1.2 Maapinnatööd ja vundamentide rajamine	38
6.1.3 Päikesepaneelide valik Eestis ja alternatiivseid võimalusi	39
6.1.4 Päikeseenergiajaamu ümbritsevad aiad ja läbikäigud	40
6.1.5 Päikeseenergiajaamad puhkealana	40
6.1.6 Ujuvad päikeseenergiajaamad	41
6.2 Taimestiku taastamine, elurikkust toetavate elementide rajamine ja hooldus	42
6.2.1 Puud ja põõsad päikeseenergiajaama alal	42
6.2.2 Taimestiku taastamine	43
6.2.3 Niitmine	45
6.2.4 Karjatamine päikeseenergiajaamade hooldusvõttena	46
6.2.5 Loomakasvatus kombineerituna päikeseenergiajaamaga	48
6.2.6 Tolmeldajate ja kahjurite looduslike vaenlaste soodustamine	49
6.2.7 Veeputukatele negatiivse mõju vähendamine	50
6.2.8 Lindude soodustamine	51
6.2.9 Käsiivaliste soodustamine	51
6.2.10 Kahepaiksete ja roomajate soodustamine	51
6.2.11 Muud elurikkust soodustavad võtted - kohalike olude kasutamine elurikkuse heaks	52
6.3 Lahendusi põllumajandusmaastikes	53
6.3.1 Agro-päikeseenergiajaamad	53
6.3.2 Agro-päikeseenergiajaamadesse sobivad kultuurid	54
6.3.3 Mitmeotstarbelise põllumajandusliku maakasutuse majanduslik tasuvus	55
Kokkuvõte	57
Kasutatud kirjandus	58

Käesolevas töös anname vastavalt Keskkonnaameti poolt esitatud lähteülesandele ülevaate päikeseenergiajaamade (PEJ) mõjust Eesti olulisematele elupaikadele, ökosüsteemidele ja peamistele liigirühmadele. Lisaks käsitleme Eesti tingimustesse sobivaid leevendusmeetmeid, mis aitavad PEJ keskkonnamõjusid vähendada. Käsitleme peamiselt keskmise ja tööstusliku suurusega ning eelkõige maapinnale ehitatud PEJ mõju, kuna katustele ehitatud PEJ puhul loetakse keskkonnamõju peaaegu olematuks. Samuti teeme põgusa ülevaate võimalustest integreerida päikeseenergia tootmine põllumajandussüsteemidesse (nn agro-päikeseenergiajaamad ehk agro-PEJ süsteemid).

[Peatükk 1](#) annab ülevaate elurikkuse ja päikeseenergia tootmise ühendamise üldistest võimalustest. [Peatükk 2](#) annab ülevaate päikeseenergiajaamade mõjust olulisematele elupaikadele ja ökosüsteemidele. [Peatükis 3](#) käsitletakse mõjusid peamistele liigirühmadele. [Peatükis 4](#) käsitletakse päikeseenergiajaamade rajamise ruumilise planeerimise põhimõtteid ning analüüsitakse, millised alad (elupaigad, ökosüsteemid, maastikud) on elustiku säästmise ja loodushüvede säilitamise seisukohast PEJ sobilikud ja millised mitte. [Peatükk 5](#) kirjeldab päikeseenergiajaamade keskkonnamõjude leevendamismõimalusi ning [peatükk 6](#) analüüsib loodussõbralikke lahendusi ja praktikaid elurikkuse soodustamiseks ja taastamiseks Eesti päikeseenergiajaamades. [Peatükis 6](#) käsitletakse ka mitmeotstarbelise maakasutuse võimalusi ehk antakse ülevaate PEJ integreerimisvõimalustest erinevate maakasutuspraktikatega (nt toidutootmisega). Igas peatükis tuuakse asjakohastes lõikudes välja praktikute (PEJ rajajate/tootjate) hinnangud majanduslike ja tehniliste piirangute kohta erinevate alternatiivide ja meetmete rakendamisel.

Töö läbiviimiseks vajalik info koondati teaduskirjanduse, muu kirjanduse, raportite ja Euroopas läbi viidud projektide tulemuste ning kogemuste põhjal. Lisaks viidi läbi intervjuud taastuvenergia tootjatega Eestis, kelle kogemus ja praktilised tähelepanekud integreeriti ülevaatesse.

TÖÖS KASUTATUD TERMINID JA NENDE INGLISKEELSESED VASTED

Päikesepaneel ehk fotogalvaaniline element (*photovoltaic cell*) – päikeseelement, mille abil muundatakse päikesevalgus elektrienergiaks.

Päikeseenergiajaam (PEJ), ka päikeseпарк (*solar power plant, solar farm*) – tähistab käesolevas töös ainult neid päikeseenergiajaamu, mis kasutavad päikeseenergia muundamiseks fotogalvaanilisi elemente (päikesepaneele).

Päikese-soojuselektriijaam (*concentrated solar power plant (CSP)*) – päikesekiirgust kontsentreeriv (nt peeglite abil) päikeseenergiajaam, mis kasutab elektrienergia tootmiseks päikesekiirguse neeldumist ainetes. Sellist tüüpi jaamasid käesolevas töös ei vaadelda.

Agro-päikeseenergiajaamad, agro-PEJ ehk agrogalvaanilised süsteemid (*agrivoltaics, agrophotovoltaics (APV), agri-PV, agrivoltaic systems (AVS)*) – põllumajandustootmisega integreeritud päikeseelektriijaamad ([vt peatükk 6.3](#)).

Leevendusmeetmete hierarhia (*mitigation hierarchy*) – keskkonnamõjude leevendamise eelistatud järjekord: 1. vältimine, 2. minimeerimine, 3. taastamine, 4. hüvitamine ehk kompenseerimine ([vt peatükk 5.2](#)).

Ujuvad päikeseelektriijaamad (*floating photovoltaic panels, floatovoltaics*) – veepinnale paigaldatavad paneelid, mis enamasti kinnitatakse parvedele või muudele struktuuridele, kuid võivad asuda ka õhukese kihina veepeal (uudsed ja Eestis veel kasutamata lahendused) ([vt peatükk 6.1.6](#)).

Päikeseenergiajaamu on olemas kahte tüüpi: 1) fotogalvaaniliste paneelide ehk tavakeeles päikesepaneelide abil päikesevalgust elektrienergiaks muundavad PEJ ning 2) päikese-soojuselektrijaamad, mis kontsentreerivad peeglite abil päikesekiirgust, mis neeldub näiteks vees või soolades ning soojuse muundamine elektriks toimub sageli auruturbiinide vahendusel. Kuna Eestis on kasutusel ainult fotogalvaanilistest paneelidest PEJ (päikese-soojuselektrijaama ei ole Eesti tingimustes otstarbekad), siis keskendub antud ülevaade ainult fotogalvaaniliste PEJ keskkonnamõjule.

Päikeseenergiajaam ehk päikeseпарк kujutab endast päikesepaneelidest, päikesepaneelide kinnitusraamastikust, inverterist, kaabeldusest jt vajalikest seadmetest (nt akupangast) koosnevat lahendust, kus toodetud elektrienergia suunatakse kas (osaliselt) omatarbimisse või elektrivõrku.

Päikeseenergiajaamu võib suuruse järgi jagada laias laastus kolmeks (AS Eesti Gaas 2022):

- 1) Väikejaamad, sageli kodutarbijatele, kuni 22 kW, pindalavajadus kuni 200 m², nii katustel kui maapinnal. Mikrotootmiseks peetakse vähem kui 11 kW koguvõimsusega paneelide kogumit.
- 2) Kommertsprojektid ehk keskmise suurusega jaamad, 22 kW kuni 1 MW, pindalavajadus kuni 2 ha, nii katustel kui maapinnal.
- 3) Arendusprojektid ehk tööstusliku suurusega PEJ- üle 1 MW, pindalavajadus üle 2 ha, enamasti maapinnal.

Päikeseenergiajaamade pindalavajadus ja ka keskkonnamõju sõltub nende koguvõimsusest. Mikrotootmiseks vajalik pindala on väike ning mahub ka katustele ja õuealadele, omades ümbritsevale keskkonnale üsna väikest mõju. Pindalavajaduse hulka loetakse kogu PEJ-ga seonduv pindala - nii paneelide alune kui ka neid ümbritsev pind, tehnoarajatiste ning juurdepääsuteede pindala jne. Pindalavajadus sõltub ka paneelide paigutusest ja nende tehnilistest omadustest. Uuematel PEJ-del võib sama võimsuse tootmiseks vajaminev pind olla veidi väiksem, kuna paneelide võimsus järjest kasvab (*intervjuud tootjatega*). Päikeseenergiajaamade rajamine Eestis on lähiaastatel hoogustumas, juba praegu (2022 detsember) on Elektrilevile esitatud päikeseenergia liitumistaotlusi põhivõrku 1526 MW ulatuses. Sellele aitab kaasa ka tehnoloogia odavnemine. Suurte PEJ rajamise hind on 2010-2018 valitud riikide näitel langenud ca 70-80%, tootjate hinnad paneelidele valitud riikide näitel on samadel aastatel langenud 20-64% (IRENA 2019). Tootjate hinnangul hakkab Eestis suuremate PEJ ehitamine oluliselt kahanema ca 3-4 aasta pärast, kuna mahud hakkavad täituma (*intervjuud tootjatega*).

Eestis kasutatakse nii ühepoolseid kui kahepoolseid paneele ning valdavalt paigutatakse paneelid ridadena. Reavahede planeerimisel arvestatakse valdavalt vaid seda, et eelmise rea paneelidest ei tekiks varjutust teistele paneelidele. Eesti PEJ-des on reavahe üldiselt 5-10 meetrit (kuigi esineb ka 20-meetrise vahedega jaamu), mis jätab optimaalse kaldenurgaga (35-45 kraadi lõuna suunas) paneelide puhul paneelidest vabaks (paneelist järgmise paneelini) alaks ligikaudu 2-6 meetrit (vt ka [ptk 6.1.3](#)).

PEATÜKI KOKKUVÕTE

- Lisaks kliimamuutusele vajab kiiret peatamist ka elurikkuse kadu ja looduslike elupaikade hävimine ja nende seisundi halvenemine.
- Elurikkuse hoidmise ja taastamise vajadusega peab arvestama igas maakasutuslikus tegevuses üle kogu maa (ka väljaspool kaitstavaid alasid) ning loodushoid tuleb põimida kõigisse tegevusvaldkondadesse.
- "Elurikkad tootmismaastikud" on lähenemine, kus üheaegselt otsitakse võimalusi põimida elurikkuse hoidmine ja taastamine, oluliste looduse hüvede seisundi paranemine ning tootmine (energia, toit, erinevad materjalid).
- Päikeseenergiajaamad (PEJ) saavad olla elurikkad tootmismaastikud, mis aitavad lisaks kliimamuutuste leevendamisele oskusliku planeerimise ja käitamise korral toetada ja taastada ka elurikkust. Selleks on oluline tagada, et PEJ rajamisel ja hooldusel 1) rakendatakse loodust ja maastikke arvestavat ruumilist planeerimist; 2) tagatakse erinevad elurikkust soodustavad leevendusmeetmed ja hooldusvõtted; 3) vaesunud maastike ja elupaikade puhul rakendatakse koos jaama rajamisega ka ala ökoloogilist taastamist (ehk rajamisega kaasnevad positiivsed netomõjud elurikkusele ja/või ala looduslikele funktsioonidele).

Päikeseenergiajaamad (PEJ) on olulised rajatised taastuenergia tootmiseks ning võimaldavad koos teiste taastuenergialahendustega eemalduda fossiilkütuste kasutamisest. Maa peale paigaldatavad suuremad ja väiksemad PEJ-d muudavad aga senist maakasutust ning mõjutavad läbi pinnakasutuse ka keskkonnaseisundit, sh elurikkust ja looduse hüvesid. Rohepöörde on tinginud kaks kriisi – elurikkuse kriis ja kliimakriis. Kliimamuutuse leevendamise vajadus on saanud avalikkuse silmis ja ka poliitikakujunduses rohkem tähelepanu, samas looduse hoidmine ja vastavasisulisel investeringul on jäänud energiapöörde kõrval tahaplaanile. **Taastuvalle energiale üleminekul ei tohi elurikkust kahjustada.** Veelgi parem, kui selle käigus saaks **panustada looduse taastamisse ja kaitse** (Bennun et al. 2021b). Elurikkuse kao pidurdamiseks ning looduslike ökosüsteemide ja inimestele hädavajalike looduslike protsesside (aineringed, mullateke, puhta vee ja õhu olemasolu, tolmeldamine jt olulised looduse hüved ehk ökosüsteemiteenused) jätkuva toimimise tagamiseks on hädavajalik **elurikkuse säilitamise ja taastamise vajaduse arvestamine igas otsuses ning loodushoiu integreerimine igasse majandusvaldkonda ja sektorisse.**

Maakasutus – meie otsused ja tegevused maismaal ja vees – **on võtmetähtsusega nii kliimamuutuse leevendamisel kui ka elurikkuse seisundi parandamisel** ja seeläbi inimeste elukeskkonna säilimisel. Nii ei piisa rohepöörde raames meile kõigile vajalike eesmärkide saavutamiseks mitte ainult fossiilset päritolu energiaallikate asendamisest taastuenergiaga, vaid vajalik on tagada ka kliimasõbralik maakasutus (maa alla ja taimkattesse talletatud süsinikuvaru hoidmine, ökosüsteemide süsinikusidumise võime taastamine) ning loodusliku elurikkuse kaitse ja taastamine/taastamine ja looduse funktsioonide taastamine.

Elurikkad tootmismaastikud on kontseptsioon, mille käigus otsitakse ja rakendatakse võimalusi ühendada inimestele hädavajalikud tootmisteggevused (energia, toit, erinevad materjalid) ning elurikkuse ja looduse hüvede hoidmine. Päikeseenergiajaamade rajamine nii elamute juurde kui ka eraldi tootmisüksustena on olulise maakasutusliku mõjuga tegevus, mille mõju elurikkusele ja looduslikele ökosüsteemidele võib olla negatiivne, kui planeerimisel ei arvestata looduslike olusid mitteametava. Samas aga võib päikeseenergiajaam oskusliku ruumilise planeerimise ja erinevate elurikkust soodustavate praktikate rakendamise abil panustada ka elurikkuse kaitsele ja taastumisele. Päikeseenergiajaamade alad ja paneelide alused – kui neil muud kasutust ei ole – on alad, mis jäävad pikka aega (25-40 a) intensiivsest maakasutusest välja ja võivad seeläbi pakkuda erinevatele liikidele elupaika ja looduslikele ökosüsteemidele häid taastumisvõimalusi (Pettersson et al. 2022, Solar Energy

UK 2022). Eriti just juba eelnevalt looduslikult kehvast seisust aladele (sh nt üksluistele põllumajandusmaastikele maastikuelementidena) rajatud PEJ-d võimaldavad elurikkuse netosuurenemist võrreldes algse seisuga, eriti kui rajamine on kombineeritud degradeerunud ökosüsteemi ökoloogilise taastamisega. Sellisel moel aitavad PEJ-d kaasa multifunktsionaalse ehk mitmeotstarbelise maakasutuse tekkele, kus ühel ja samal pinnal tagatakse erinevate eesmärkide täitmine (nt *energia ja elurikkus*, aga ka nt *energia ja toidutootmine* või *energia ja süsinikusidumine*, *energia ja tolmeldamine* jms. Ka meie piirkonnas on nii suuremaid tööstuslikke PEJ kui ka väikeste kodutarbijate jaamasid võimalik integreerida elurikkuse hoiu ja efektiivse maakasutusega, tagamaks mitmekülgsete looduse hüvede olemasolu maastikes. Elurikkuse suurendamine koos PEJ rajamisega võiks olla üks põhimõtteid, mida PEJ-de planeerimisel silmas pidada (Taylor et al. 2019, Solar Energy UK 2022).

Degradatsioon ja üksluistes põllumajandusmaastikes võivad elurikkuse-sõbralikult rajatud ja hooldatud PEJ-d osutada maastike olulisteks liigendajateks, toimides elurikkust toetavate maastikuelementidena. Neil on sellistes paikades potentsiaal pakkuda elupaika, suurendada avatud ökosüsteemide omavahelist sidusust, olla pärandniitude tugialadeks. Lisaks võimaldavad põllumajandusmaastikesse maastikuelementidena rajatud PEJ-d kahandada piirkonnas põllumajanduskemikaalide kasutamist, intensiivse põllumajanduse lakkamine võimaldab tõsta mulla ja vee kvaliteeti, aidata taastada mullal ja suurendada mulda seotud süsinikuhulka (Solar Energy UK 2022).

Päikeseenergiajaamad võivad sobiva ruumilise planeerimise ja oskusliku maastikku integreerimise korral kasu tuua ka põllumajandustootjatele, võimaldades sissetulekute mitmekesistamist, pakkudes võimalusi lammaste karjatamiseks ning põllukultuuride tolmeldamisteenusega varustamiseks (PEJ-d kui tolmeldajate elupaigad ja toidulaud). Tolmeldajatel on vaja püsivaid (st kündmata ja uuendamata) ning looduslike liikide poolest liigirohkeid ja õiterohkeid elupaikasid. Piisav tolmeldamine tagab tolmeldajatest sõltuvatel põllukultuuridel (nt raps, õunad, maasikad, kaunviljad) kõrgemaid saake (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2022, Solar Energy UK 2022).

Oskusliku planeerimise ja rajamise korral võib päikeseenergiajaamadest tõusta kasu ka kohalikele kogukondadele, nt juhul kui sellega kaasneb uute käiguteede/jalgradade/rattaradade loomine, hariduslikud- ja puhkevõimalused kohalikele kogukondadele ja koolidele, kohalike looduskaitseprioriteetide toetamine (nt viljapuuaedade istutamine) ja ülejutuste leevendamine (Lambert 2022, Pettersson et al. 2022).

PEATÜKK 2. ÜLEVADE PÄIKESEENERGIAJAAMADE MÕJUST OLULISEMATELE ELUPAIKADELE JA ÖKOSÜSTEEMIDELE

PEATÜKI KOKKUVÕTE

- Päikeseenergiajaamade rajamise ja käitamise mõju loodusele sõltub ruumilistest planeerimisotsustest (kuhu rajada) ning rajamis- ja hoolduspraktikatest (kuidas rajada ja hooldada).
- Kõige suurem on PEJ rajamise mõju väärtuslikes ja elurikastes elupaikades ja ökosüsteemides, kaitstavatel aladel ning kultuurilise väärtusega maastikes. Rajamist tuleb vältida metsaaladele ning heas seisus ja kaitstavatesse elupaikadesse ja maastikesse.
- PEJ rajamise mõju on suur, kui sellega kaasneb suuri häiringuid olemasolevale väljakujunenud ökosüsteemile - puittaimestiku eemaldamine, olemasoleva taimestiku täielik või osaline hävimine, ala kuivendamine, väikeveekogude ja niiskete alade hävimine, ala keskkonnatingimuste (nt niiskusrežiimi) homogeensemaks muutumine, uute kraavide kaevamine ja vanade kuivendussüsteemide rekonstrueerimine, maapinna liigne kahjustumine ning pinnase täitmine.
- Degradunud (viletsa seisundiga) avakooslustes on PEJ potentsiaalne negatiivne mõju väike ning tekib ka võimalus ühendada PEJ rajamine koosluse seisundi parandamisega.
- PEJ alad – juhul, kui nad on maastikke ja elurikkust arvestavalt rajatud ning loodussõbralikult hooldatud – on võimelised pakkuma ka erinevaid looduse hüvesid, sh nt tolmeldamist, looduslikku kahjuritõrjet, süsinikusidumist mulda, erosiooni vähendamine jpt.
- Sarnaselt teiste riikidega peaks ka Eestis uute arenduste puhul rakendama eesmärki tagada rajamise käigus elurikkuse ja looduse seisundite paranemine ehk positiivne netomõju.
- Elustiku ning looduse hüvede taastumine PEJ aladel võib olla kiirem ja efektiivsem, kui kasutada ökoloogilise taastamise võtteid.
- Päikeseenergiajaamadel võib oskusliku rajamise ja sobiliku infrastruktuuri rajamise (jalutusteed, rattateed) korral olla ka positiivne sotsiaalne mõju.

Päikeseenergiajaama rajamisel on võimalikest mõjudest **kõige enam ohustatud kõrge elurikkusega väärtuslikud maastikud ja ökosüsteemid ning kaitstavad ja kaitsealuste liikidega alad**. Peamiseks mõjuteguriks on PEJ rajamise ja käitlemisega ning sellega kaasneva infrastruktuuriga kaasnev elupaikade kadu, nende ökoloogilise kvaliteedi kahanemine ning elupaikade killustumine (Bennun et al. 2021a). Kõige suurema keskkonnamõjuga etapp on reeglina PEJ rajamine. Enamikel juhtudel on PEJ mõjud siiski üsna väikesed ja kohaspetsiifilised (Taylor et al. 2019). Näiteks tuvastati Austraalias läbiviidud uuringus, et enne PEJ ehitamist eeldatud ohud kõik ei realiseerunud (näiteks müra ning negatiivne visuaalne mõju) ning need mõjud, mis tegelikult tekkisid, olid lühiajalised ning neid sai ettevaatusabinõude ja leevendusmeetmetega edukalt vähendada (Guerin 2017). Võimalikke mõjusid on siiski vaja hinnata juhtumipõhiselt, et võtta kasutusele proportsionaalsed ja efektiivsed leevendusmeetmed (Taylor et al. 2019).

Võrreldes traditsiooniliste, fossiilsetel kütustel põhinevate energiajaamadega, on PEJ mõju oluliselt väiksem. Turney ja Fthenakis (2011) hindasid kirjanduse ülevaate põhjal 32 erinevat keskkonnamõju tegurit ning leidsid, et 22 mõjuteguri puhul oli PEJ mõju ulatus võrreldes traditsiooniliste energiajaamadega oluliselt väiksem (sh toksiliste ühendite ja peenosakeste emissioon, müra, mõju kliimamuutustele, elupaikade kvaliteet, mulla erosioon ehituse käigus, pinna- ja põhjavee kvaliteet, CO₂ ja teise kasvahoonegaaside emissioon), nelja mõjuteguri puhul oli teguri tugevus PEJ ja traditsioonilise energiajaama vahel võrdne (maakasutus, visuaalne mõju, elupaikade killustumine ja maakasutuse muutus), ühe mõjuteguri puhul oli PEJ poolt osutatav kahju suurem (elektriliinidest tulenev oht lindudele, kuna liine on vaja juurde ehitada, kuid ka see mõjutegur oli

suhteliselt ebaoluline). Ülejäänud mõjutegurite ulatust (nt mulla erosioon käitamise ajal ja mõju maapinna albeedole) ei ole veel piisavalt hästi uuritud (Turney ja Fthenakis 2011). Uudsete lahenduste ja leevendusmeetmetega on ka suuresti võimalik mitmete mõjutegurite ulatust vähendada (Tawalbeh et al. 2021, Turney ja Fthenakis 2011).

Päikeseenergiajaamade mõju hindamisel ökosüsteemidele ning leevendusmeetmete vajalikkusele on eelkõige oluline lähtuda **põhimõttest, et lõpptulemuseks oleks elurikkuse kasv ning koosluse seisundi parandamine**. Näiteks Ühendkuningriigis on juba aastat 2019. kehtimas uute arenduste puhul [biodiversity net gain](#) eesmärk ehk elurikkuse indikaatorid peavad arendamise käigus paranema (Taylor et al. 2019). Sama põhimõtet on vaja järgida ka Eestis.

2.1 MÕJU METSAÖKOSÜSTEEMIDELE

Metsaökosüsteemid on ühed kõige ebasobivamad kohad PEJ rajamiseks ning reeglina neid ei kaalutagi PEJ tegemiseks (Doljak ja Stanojević 2017, Finn ja McKenzie 2020, Turney ja Fthenakis 2011). Päikeseenergiajaamade rajamiseks metsades on vaja eemalda puud, põõsad, ning juurida välja kännud (Turney ja Fthenakis 2011). Sellega hävib metsaökosüsteem ning tekib väga tugev negatiivne mõju keskkonnale, mullale ja elustikule (**joonis 1**). Ka raiesmikele PEJ rajamine ei ole asjakohane, Eestis on metsamaal vajalik metsaökosüsteemide taastamine ja taastumine.



Joonis 1. Raiesmikule rajatud päikeseenergiajaam Läänemaal (foto: Aveliina Helm).

Võsastunud või metsastunud endistele niidualadele PEJ rajamisel on rajamise mõju olemasolevale kooslusele küll suhteliselt suur, kuid kui tegemist on ajalooliselt avatud alaga ja eriti kui tegu on ajaloolise pärandniiduga, siis võib **PEJ rajamine kombinatsioonis avatud elupaiga taastamisega** ja edasise pärandiidu elustikku soosivate hooldamisvõtete rakendamisega **olla elurikkust soodustav**.

2.2 MÕJU SOODELE JA SOOSTUNUD ALADELE

Soodes ning teistel märgaladel võib PEJ rajamisega kaasneda suured muutused ala hüdroloogilises režiimis ning seega ka keskkonnatingimustes ja elustiku seisundis. Veerežiimi muutumine ja pinnasehäiring võib põhjustada kasvuhoonegaaside heidet. Seetõttu peaks vältima PEJ ehitust väärtuslikesse vee-elupaikadesse, nagu märgalad, rabad, allikahad, ojad, jõed, üleujutatavad alad, kaldad ning ohustatud liikide elupaigad (Doljak ja Stanojević 2017, Grippo et al. 2020).

Intervjueeritud Eesti tootjad tõdesid kõik, et on ehitanud PEJ ka niisketesse elupaikadesse, näiteks mahajäetud ja võsastunud niiskele niidule. Seisva veega kohtadesse on PEJ-d keeruline rajada, kuna vesi hakkab kiiresti konstruktsioone rikkuma. Uusi kuivendussüsteeme tõenäoliselt Eestis PEJ-de ehituseks rajatud ei ole, kuid olemasolevate süsteemide korrastamine ja korrashoid võib ehitustöid lihtsustada (*intervjuud tootjatega*).

Niisketele, märgadele ja/või soostunud aladele PEJ rajamisel **tuleb vältida ala kuivendamist, väikeveekogude hävitamist, uute kraavide kaevamist ja vanade rekonstrueerimist, maapinna liigset kahjustamist ning pinnase täitmist**. Maapinna kahjustamise vältimiseks nii ehituse kui hoolduse käigus tuleb tööde jaoks valida sobiv aasta-aeg ja masinad ning hiljem ala korrastada. Kui märjale/soostunud alale rajatud PEJ majandatakse edaspidi niiskele niidule või märgalale sobivalt, ei rikuta maapinda masinatega ega ala veerežiimi, ei ole PEJ keskkonnamõju kuigi suur. Samuti võib olla hea võimalus ühendada PEJ ehitus ammendunud turbarabas sootaimestiku taastamisega, mis aitab vähendada kasvuhoonegaaside lendumist kuivendatud rabast. Selline projekt on Eestis ka peagi alustamisel (*intervjuud tootjatega*).

Juhul, kui ala on varasemalt kuivendatud ja võsastunud ning on soov seda PEJ positiivse keskkonnamõju suurendamiseks niiske elupaigana taastada, siis tuleb leida võimalus lisaks võsa eemaldamisele ka elupaigale sobiva veerežiimi taastamiseks. Sobilik on ka ala niiskeid tingimusi ära kasutada mõne väikeveekogu (seisuveekogu) rajamiseks, millega saab tuua alale veelgi lisaväärtust.

2.3 MÕJU PÄRANDNIITUDELE KAITSEALADEL JA VÄLJASPOOL KAITSTAVAIK ALASID

Pärandniidud on ühed meie liigirikkamad kooslused ning olulised kultuurilise väärtuse kandjad (Talvi ja Talvi 2012), seega on potentsiaalne kahju nii elustikule kui kultuurilisele väärtusele seal samuti väga suur (Turner ja Fthenakis 2011). Samuti on pärandniidud kaitstud loodusdirektiivi üleeuroopalise tähtsusega elupaikadena (Paal 2007). Nii nagu teistele kõrge loodusväärtusega ökosüsteemidesse, **ei või ka kaitstavatele pärandniitudele PEJ rajada**. Rajatiste pikaajalised mõjud heas seisus pärandniitude elustikule on teadmata ning uudsed tehisrajatised kahjustavad oluliselt pärandniitude kultuuriloolist rolli ajaloolise maastikupildi kandjana.

Lisaks aga tuleb ka Eestis rakendada selget põhimõtet sarnaselt Ühendkuningriigis rakendunud nõudega (Taylor et al. 2019), et **PEJ rajamisel peab olema tagatud elurikkuse paranemine ehk positiivne netomõju** (vt ka peatükk 5.1). Heas seisus pärandniidu elustiku seisundit PEJ ei saa parandada, vaid tegevuse netomõjud elurikkusele on kindlasti negatiivsed ([vt peatükk 3.1](#)).

Kehvas seisus ja tugevalt võsastunud pärandniitudele väljaspool kaitstavaid alasid aga võib väikese või keskmise suurusega PEJ rajamist kaaluda, kui sellega kaasnevad elurikkusele positiivsed netomõjud ehk PEJ rajamisega kaasneb ala ökoloogiline taastamine, PEJ rajatakse koosluse väärtusi silmas pidades (sh rohkem kui 10-meetrise reavahedega ja PEJ kogu taristu katab tervikuna pärandniidust mitte rohkem kui 30-50%, sarnaselt pärandniitude koosluste tagamiseks soovitatud puistu katvusele) ning hooldusrežiim valitakse samuti nii, et see aitaks parandada kooslusele iseloomulike liikide seisundit.

2.4 MÕJU KULTUURROHUMAADELE

Kultuurrohumaadel on elurikkus madalam kui pärandniitudel, seetõttu on seal ka potentsiaalne kahju väiksem (Turner ja Fthenakis 2011). Sobivalt valitud hooldusrežiimiga on võimalik PEJ-des elurikkust ka soodustada või kombineerida PEJ traditsioonilise heinateo või karjakasvatusega (Blaydes et al. 2021, Pettersson et al. 2022). Sellisel juhul võib olla vajalik paneeliridade vahelise kauguse suurendamine, et põllumajandustehnika saaks nende vahel paremini liikuda või tõsta paneelid kõrgemale, et loomad ei saaks neid kahjustada. Päikeseenergiajaamade ehitamine võib sellistel aladel olla elurikkusele positiivse mõjuga, kui neid ehitada

kasutusest välja jäänud kultuurrohumaaadele või varasemalt intensiivses kasutuses olevatele kultuurrohumaaadele **kombinatsioonis kohaliku päritolu looduslike liikide liigirikka segu külvamisega ja seeläbi liigirikka taimekoosluse rajamisega.**

2.5 MÕJU MUUDELE AVATUD ALADELE MAASTIKUS

Maastikus esinevate teiste avatud alade puhul (nt liivikud-luited, nõmmed, jäätmaad, mahajäetud põllumaad jne) sõltub potentsiaalne mõju koosluse seisundist. Juba varasemalt degradeerunud aladel on ka PEJ ehitamise mõju väiksem ning võib olla isegi võimalus looduse hüvesid ning elurikkust soodustada (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2021, Montag et al. 2016). Näiteks jäätmaadel või mahajäetud põllumaadel on hea võimalus hästi valitud leevendus- ja majandamisvõtetega koosluse seisundit parandada (vt lähemalt **peatükist 6**).

2.6 MÕJU PÕLLUMAJANDUSLIKELE ÖKOSÜSTEEMIDELE

Agroökosüsteemid on looduslike kooslustega võrreldes rohkem degradeerunud (Lambert et al. 2021), seetõttu peetakse põllumajandusmaid ka üheks sobivamaks maakattetüübiks, kuhu PEJ rajada (Turner ja Fthenakis 2011). Ka põllumaaadele rajamisel on oluline tagada maastikuline planeerimine, et ka PEJ rajamisel oleks kindlustatud toidutootmise jätkumise võimalus, rajada PEJ väiksemapinnaliste maastikuelementidena nt põlluservades ja nende vahel ning eelistada alasid, mis on aktiivsest põllumajanduskasutusest välja jäänud (Pearce et al. 2016). Vältida tuleb olukorda, kus põllumajandusmaadele rajatud PEJ võrra suurendatakse põllumaad mõne väärtusliku ökosüsteemi arvelt, mis suurendab projekti kaudset keskkonnakahju (Bennun et al. 2021a). Oskusliku planeerimise korral on põllumajandusmaadele PEJ rajamisel võimalik tekitada keskkonnale positiivset mõju. Näiteks Ühendkuningriigis on leitud, et üksluistele ja liigendamata põllumajandusmaastikesse rajatud PEJ-des on kõrgem taimede, lindude ja putukate arvukus kui ümbritsevas maastikus asuvatel põllumajandusmaadel (Bennun et al. 2021a, Montag et al. 2016).

Põlluservadesse, vaheribadele ning põllusaartele PEJ rajamine ning PEJ rajamine uute maastikuelementidena (uute vaheribade, põllusaarte, kasutusest väljas laigukestena) mõjutab keskkonda vastavalt koosluste edasisele seisundile. Hooldades ja rajades PEJ elurikkust silmas pidades, näiteks soodustades tolmeldajate ning põllukahjurite looduslike vaenlaste esinemist, õitsevate taimede esinemist, looduslike taimeliikide liigirikkust, on võimalik PEJ abil parandada looduslikku tolmeldamis- ja kahjuritõrje teenust ümbritsevatel põldudel (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2022). Päikeseenergiajaamade alale on võimalik lisada ka mesitarusid ning sellega omakorda mitmekesistada põllumajandustootmist ning soodustada tolmeldamisteenust.

Veelgi parem lahendus on integreerida päikeseenergia tootmine põllumajandustegevustega, näiteks kasvuhoonete struktuuris või varjutaluvate kultuuride kasvatamisel, mis võimaldab suurendada samalt pinnaühikult saadavat tulu (Dinesh ja Pearce 2016), mitmekesistada põllumeeste sissetulekuid (Cuppari et al. 2021) ning vähendada põllumajanduse ja energiatootmise konkurentsi maakasutuses (Adeh et al. 2018, Dinesh ja Pearce 2016). Mõnel juhul võimaldab madalam päikese intensiivsus ning madalam aurumine paneelide all ka niisutusvett kokku hoida (Marrou et al. 2013a) ning kaitseb taimi kuumalainete korral (Trommsdorff et al. 2021, Weselek et al. 2019). Täpsemad agro-päikeseenergiajaamade mõjud sõltuvad päikesevalguse intensiivsusest antud piirkonnas, kasvatatavast kultuurist ja kasutatavast tehnoloogilisest lahendusest (vt lähemalt peatükki 6.3).

2.7 MÕJU MAASTIKELE

Päikeseenergiajaamade rajamise peamine mõju maastikes on seotud elupaikade kao ning killustumisega (Dhar et al. 2020) ning visuaalse reostusega ja maastikulise ilu kahanemisega. Mitmekesiste traditsiooniliste ja liigendatud põllumajandusmaastike (karjamaad vaheldumas märgalalaikude ja väikeste põldude ja talukohtadega) kadumine on kahandanud paljude avamaastikega seotud liikide arvukust. Hästi valitud rajamise ja hoolduse korral on PEJ rajamisega võimalik üksluistes maastikes osadele liikidele ka elupaiku taastada (Montag et al. 2016), aga kõigile avamaastike liikidele PEJ-dega seotud territooriumid siiski ei sobi. Eriti suur elupaikade kao ja killustumise oht **tekib suurte PEJ rajamisega või mitmete PEJ rajamisega ühte piirkonda.** Ühendkuningriigis on antud soovitus hinnata enne ehitust mõju maastikule ning elustikule plaanitava PEJ piiridest vähemalt kuni 2 km kaugusele, sõltuvalt ümbritsevatest kooslustest (Solar Energy UK 2022). Eriti tundlikud on **maastikumuutusele elurikkad ning kaitstavad maastikud, olulised pesitsus- või toitumispiirkonnad ja migratsioonikoridorid** (Bennun et al. 2021a). Peale paneelide efektiivse eluea möödumist on võimalik maastiku endine seisund suhteliselt lihtsasti taastada, kui rajamiseks ei ole eemaldatud metsa, tehtud kuivendustöid või muul moel paneelide all olevat maastikku muudetud (Tawalbeh et al. 2021).

2.7.1 MAASTIKUVAATED, REKREATSIOON

Suurimad vastuolud visuaalse reostuse osas võivad tekkida turismi piirkondades ja looduslikes puhkepaikades (Tawalbeh et al. 2021). Olulistesse turismi piirkondadesse, puhkepaikadesse ning kauni vaatega kohtadesse on soovitatav PEJ mitte rajada või siis paigutada need eemale peamistest vaatesektoritest (Consultare OÜ 2020). **Samuti ei tohi kommerts- ja tööstusliku suurusega PEJ rajada rahvusparkides ja maastikukaitsealadel, kus on üheks kaitse-eesmärgiks (pärand)maastike kaitse. Seal on PEJ rajamise visuaalne mõju negatiivne ka väljaspool olulisemaid rekreatsioonipiirkondi. Ka väiksemate PEJ puhul peab sellistes kohtades visuaalse reostuse mõju vältima.**

Visuaalse reostuse vähendamiseks, PEJ poolt loodava maastikulise ilme parandamiseks ning pilkude eest varjamiseks saab ümber PEJ (või vähemalt selle põhjaküljele) istutada puid või põõsaid, mis ei varja paneelide eest päikest (Consultare OÜ 2020, Solar Energy UK 2022). Piirdeaedade katmine ronitaimedega (eelistatult looduslikega) aitab samuti maastikes PEJ visuaalset mõju vähendada (Pettersson et al. 2022).

Planeerides PEJ koos kohalike ja huvirühmadega, on suurem tõenäosus saavutada tulemus, mis kõikidele sobiv (Bennun et al. 2021b; Dhar et al. 2020). Erinevaid leevendusmeetmeid kasutades ning maastiku ajalugu arvesse võttes, on võimalik kujundada maastikke, kus on väärtustatud ühekorraga nii puhkevõimalused kui ka energia tootmine. Selle juures võivad aidata maastiku atraktiivsust suurendada näiteks õiterohkete ökosüsteemide loomine, kariloomade toomine PEJ alale, vaatetornide, infotahvlite, ühiskasutatavate jalgrataste ja piknikulaudade lisamine või õppeväljasõitudeks võimaluse loomine koolidele (Lambert 2022, Pettersson et al. 2022).

2.8 MÕJU VEEKOGUDELE JA PÕHJAVEELE

Mullaerosioon võib suurendada setete rohkust rajatava PEJ lähedastes veekogudes eelkõige selle ehitamisel, aga ka käitamise ajal ning lammutamise käigus (Dhar et al. 2020). Erosiooni vältimiseks on vaja jätta suuremate veekogude ümber puhvertsoonid (Grippio et al. 2020). **Päikeseenergiajaama rajamisel ega hooldusel ei tohi kasutada herbitsiide**, eriti kahjulik on nende kasutamine veekogude ümbruses (Grippio et al. 2020). Päikeseenergiajaamade rajamise käigus on ka võimalikud lekked mulda ehitusel kasutatavatest seadmetest.

Selliste lekete tõenäosus on kohaste ettevaatusmeetmete kasutamisel väike ning tõenäoliselt põhja- ja pinnavee reostust ei tekita (Consultare OÜ 2020).

Päikeseenergiajaamade käitamise ajal kulub vett peamiselt paneelide pesemiseks (Bennun et al. 2021a). Eestis on paneelide pesemine siiski oluline ainult katusel asuvate PEJ puhul, maapinnal olevaid paneele üldiselt ei pesta, kuna vihm ja lumi puhastavad neid piisavalt hästi (*intervjuud tootjatega*).

Võimalike mõjude vältimiseks ning minimeerimiseks on vaja veekogude lähistel ja karstialadel rakendada PEJ planeerimisel ja rajamisel leevendavaid võtteid mõju vähendamiseks (vältida herbitsiidide kasutamist, vähendada mullapinna häirimist rajamise käigus, mitte kasutada hooldusel kemikaale, vältida nõlvadele rajamist ja mullaerosiooni).

2.8.1 UJUVAD PÄIKESEENERGIAJAAMAD

Veekogud ja avavesi jäetakse enamasti PEJ võimalikke asukohti planeerides valikutest välja (Doljak ja Stanojević 2017, Finn ja McKenzie 2020, Pearce et al. 2016, Sánchez-Lozano et al. 2015), kuid samal ajal on ujuvate PEJ rajamine aina enam populaarsust kogumas ning vajalikke tehnoloogilisi lahendusi arendatakse kiires tempos (Almeida et al. 2022, Bennun et al. 2021a). Veepinnale paigutatud PEJ-del (**joonis 2**) on mitmed head küljed - ei kulu väärtuslikku maapinda, paneelide tootlikus on tänu vee jahutavale toimele suurem ning väheneb ka vee aurumine veepinnalt (Bennun et al. 2021, Pimentel Da Silva ja Branco 2018). Samas võib neil olla ka negatiivsed mõjud näiteks veekogude primaarproduktioonile ning paneelid võivad vähendada hapniku jõudmist vette ja vee segunemist. Uuringud näitavad siiski, et kuni 20% veepinna katmine väga olulist mõju veekogu elustikule ei oma (Dalderup et al. 2020, Karpouzoglou et al. 2020). Vette rajatud struktuurid võivad samal ajal olla ka kasulikud näiteks kaladele, vetikale ja muule mereelustikule kinnitumis- või varjepaigana (Vo et al. 2021). Täpsemad ja pikaajalisemad mõjud elustikule, keskkonnatingimustele ja vee kvaliteedile siiski veel teadmata (Almeida et al. 2022, Pimentel Da Silva ja Branco 2018) ning enne teadmiste kogunemist tuleb **ujuvate paneelide paigutamist looduslikele veekogudele tuleb vältida**. Ujuvate PEJ paigaldamisel tuleks Eestis kaaluda eelkõige tugeva inim mõjuga tehisveekogudes, kus nende mõju loodusele on väiksem (Pimentel Da Silva ja Branco 2018), näiteks tehisjärvedele (Almeida et al. 2022), reoveepuhastite biotiikidele, kaevandusalade veekogudele jne (Rosa-Clot et al. 2017). Looduslikele veekogudele võiks PEJ rajamist kaaluda ainult erijuhtudel, näiteks kombinatsioonis avavee tuuleelektrijaamaga või vesiviljelusega.



Joonis 2. Päikesepaneelid veekogul (foto: Inalvis Alvarez Fernandez, US Department of Energy, Flickr)

2.9 MÕJU MULLALE

Päikesenergiajaama rajamisel võib olenevalt tingimustest tekkida tugev mullapinna häiring ning taimestiku eemaldamine, seda eriti võsastunud või metsastele aladele rajamise puhul. Mõnikord on vajalik ka maapinna tasandamine, sellise juhul on häiring tugeva mõjuga (Bennun et al. 2021a, Fthenakis et al. 2011). Päikesenergiajaama rajamisega võib kaasneda mulla tihenemine (raskete masinate kasutamisel), selle keemiliste ja füüsiliste omaduste muutus, tekib erosiooni oht ning orgaanilise süsiniku emissioon (Dhar et al. 2020, Lambert et al. 2021). Erosiooni oht on eriti suur, kui PEJ rajatakse nõlvale või kui selle tarbeks on maha võetud mets (Turney ja Fthenakis 2011).

Mida väiksem on rajamisaegne häiring, seda kiirem on ka hiljem mulla funktsioonide taastumine (Choi et al. 2020, Moore-O'Leary et al. 2017). Kahjuliku mõju minimeerimiseks on vajalik häiritud alade hästi planeeritud taastamine võimalikult kiiresti peale ehitustööde lõppu ning samamoodi peale päikesepagi lammutamist (Dhar et al. 2020), vastasel juhul võivad nii vesi kui tuul hakata maapinnalt viljakat mulda ära viima (Hernandez et al. 2014). Intervjuudest tootjatega tuli välja, et Eestis PEJ rajamisel mullapinda oluliselt ei kahjustata, kuna rajamismeetodid võimaldavad paneele paigaldada ka ebatasasele pinnale. Samas on ka näiteid, kus mulda on siiski kooritud, tasandatud või kände juuritud ja seeläbi olemasolevat mulla struktuuri ja taimestikku oluliselt kahjustatud (vt nt **joonis 1**). Kui mulla pealmine kiht lihtsalt ära koorida ning minema viia, siis võtab mulla funktsioonide taastumine tunduvalt kauem aega. Näiteks Choi et al. (2020) tuvastasid referentsaladest madalamad mulla süsiniku ja lämmastiku sisaldused PEJ mullas ka veel seitse aastat peale PEJ rajamist ja taimestiku taastamist. Mulla funktsioonide taastamine võib olla kiirem, kui kasutada ökoloogilise taastamise võtteid (Lambert et al. 2021).

Päikesenergiajaama käitamise ajal toimuvad mullas muutused, mis on peamiselt tingitud mikrokliimaatilistest erinevustest paneelide all ja ümbruses (muutused temperatuuris ja niiskustingimustes; vt ka peatükk 2.10.4). Need omakorda tekitavad muutusi taimestikus ning mulla keemilistes ja füüsikalistes omadustes, funktsioonides

(vt peatükk 2.10.1) ning elustikus (vt peatükk 3.6). Muutuste suund ja ulatus sõltuvad suuresti piirkonna päikesevalguse intensiivsusest ja kliimast (Armstrong et al. 2014). Näiteks, Tiibeti alpiniidul suurenes PEJ alal kuue aastaga mulla C ja N sisaldus paneelide all võrreldes paneele ümbritseva alaga (Liu et al. 2022), samas kui Ühendkuningriigis mullatingimused paneelide all, ümbruses ja kontrollaladel olid sarnased (Armstrong et al. 2016). Muutuste ulatus sõltub ka kooslusest, mis esines alal enne PEJ rajamist. Näiteks rajades PEJ juba eelnevalt (pool)looduslike kooslustega võrreldes degradeerunud mullaga mahajäetud põllumajandusmaale, võib PEJ rajamisega seoses küll toimuda mõningane mulla füüsikaliste omaduste degradeerumine, kuid üldine mullatervis ei pruugi kuigi palju muutuda (Lambert et al. 2021).

2.10 MÕJU LOODUSE HÜVEDELE

Päikeseenergiajaamade alad – juhul, kui nad on maastikke ja elurikkust arvestavalt rajatud ning loodussõbralikult hooldatud – on võimelised pakkuma ka mõningaid ökosüsteemiteenuseid ehk looduse hüvesid. PEJ aladega seonduvad võimalikud looduse hüved saavad olla näiteks **elurikkuse ja elupaikade säilitamine, süsiniku sidumine ja kliimaregulatsioon, üleujutuste leevendamine ja veeringluse reguleerimine, vee kvaliteedi reguleerimine, tolmeldamine, looduslik kahjuritõrje, õhu kvaliteedi reguleerimine, mullaerosiooni leevendamine ja mulla kvaliteedi reguleerimine, haridus ja teaduse edendamine ning toidutootmine ja jätkusuutliku põllumajanduse toetamine** (Solar Energy UK 2022).

2.10.1 SÜSINIKU SIDUMINE JA VARU

Päikeseenergiajaamades võib orgaanilist süsinikku mullast vabaneda nii ehitusega kaasnevate häiringute käigus kui ka keskkonnamuutuste tõttu käitamise ajal (Dhar et al. 2020, Lambert et al. 2021, Moore-O'Leary et al. 2017). Keskkonnamuutused paneelide all muudavad tõenäoliselt ka kohalikku mikroobikooslust, millel võivad olla tagajärjed süsinikuringlusele ja kasvuhoonegaaside emissioonile. Muutuste suund sõltub seejuures oluliselt koosluste tüübist, mil määral on temperatuur, mulla toitained ja niiskus seal limiteerivad ning majandamise intensiivsusest (Armstrong et al. 2014).

Mõju süsinikus sidumisele ja varule sõltub paljudest teguritest, sh sellest, millised olid enne jaama rajamist valitsevad tingimused alal – nt kas oli tegu loodusliku heas seisus ökosüsteemiga (mõju tõenäoliselt negatiivne) või põllumaaga (mõju tõenäoliselt positiivne). Ökosüsteemi süsinikubilansis on leitud olulisi erinevusi paneelide all, vahel ja kontrollaladel ning esinevad ka suured aastaajalised erinevused. Ühendkuningriigi lõunaosas asuva PEJ põhjal tehtud süsinikubilansi arvutused näitasid, et paneelivahed ning kontrollalad aasta lõikes pigem sidusid süsinikku, kuid paneelide alused pigem emiteerisid seda (Armstrong et al. 2016). Samas, Lambert et al. (2021) Lõuna-Prantsusmaal leidsid, et CO₂ vabanemine paneelide alusest mullast vähenes kevadel ja suvel võrreldes paneele ümbritseva alaga. Praktilisi mõõtmisi süsinikuvoogude ja varu kohta on siiski veel vähe tehtud ning PEJ tegelik mõju mullale ja süsinikuringele erinevates ökosüsteemides vajab täpsustamist (Dhar et al. 2020). **On väga tõenäoline, et varasemalt küntud põllumaale PEJ rajamisel on mõju mulla süsinikusisaldusele pigem positiivne, kuna pidev mullahäiring peatub ning ala hakkab toimima rohumaana.** Samuti on leitud **positiivseid seoseid rohttaimede liigirikkuse ning mulla süsinikusisalduse vahel, viidates, et liigirikkam taimestik ka PEJ all võib tagada suurema süsinikusidumise võime** (Yang et al. 2019). Eriti suure potentsiaaliga on **kuivendatud turvasmuldadel küntud alade asendamine rohumaaga** ja seal peal oleva PEJ-ga. Kõige rohkem aga soodustab pikaajalist süsinikusidumist loodusliku veerežiimi taastamine koos PEJ rajamisega kuivendatud turvasmuldadega aladel (Manchester et al. 1999, Worrall et al. 2010).

2.10.2 VEE- JA AINERINGE

Päikeseenergiajaama rajamise käigus on teatav oht pinna- ja põhjavee reostumiseks (Bracken et al. 2015, Lovich ja Ennen 2011), samuti on oht toitainete ärakandeks mullast (Walston et al. 2021) ning setete liikumiseks veekogudesse (Dhar et al. 2020). Kasutades väiksemaid häiringuid tekitavaid lahendusi (näiteks häirides mullapinda ehituse käigus võimalikult vähe), on ka mõju vee- ja aineringle väiksem.

Nõrgema päikesekiirguse tõttu on paneelide all evapotranspiratsioon 10-30% väiksem (Marrou et al. 2013a). Kuumemates piirkondades või põuastel aastatel võib see suurendada taimestiku biomassi, kuid jahedamas kliimas võib see potentsiaalselt biomassi ka vähendada (Adeh et al. 2018). Itaalias leiti, et seitse aastat peale installeerimist olid nii mullaniiskus kui ka mulla veemahutavus väikseimad paneelide all ning suurimad paneelide vahel (Moscatelli et al. 2022).

2.10.3 TOLMELDAMINE JA LOODUSLIK KAHJURITÕRJE

Elurikkust soodustava majandamisega on võimalik soodustada nii tolmeldajate kui ka kahjurite looduslike vaenlaste esinemist PEJ-des, nii et nende liigirikkus võib olla isegi suurem kui väljaspool PEJ-d ning toetada efektiivselt läheduses paiknevate põllumajanduskultuuride saagikuse kasvu (Montag et al. 2016, Randle-Boggis et al. 2020). Suurbritannias läbi viidud uuringud näitavad, et PEJd, mis rajatakse ja mida hooldatakse õite ja liigirikaste niidukooslustena pakuvad mitmetele looduslikele tolmeldajatele kvaliteetsemad pesitsus- ja korjepaiku võrreldes PEJ-dega, mille alustaimestik on monokultuurne murukooslus (Blaydes et al. 2021, Blaydes et al. 2022). Liiga sagedane niitmine ning herbitsiidide kasutamine on putukatele negatiivse mõjuga, kuna hävitab neile vajalikud taimed ning vähendab toiduressursse. Elurikkust soodustavate meetmetega hooldades võivad PEJd olla ümbritsevatele aladele tolmeldajate allikaks (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2022). Seejuures on **ökoloogiliste protsesside toimimiseks parem väiksem paneelide tihedus ja suuremad vahed paneeliridade vahel** (Lambert 2022).

2.10.4 MIKRO- JA MESOKLIIMA

Tüüpilised maapinnale paigaldatud päikesepaneelid tekitavad enda all ning ümber mikrokliima heterogeensuse nii temperatuuri (Armstrong et al. 2016, Lambert et al. 2021) kui mullaniiskuse osas (Adeh et al. 2018, Choi et al. 2020). Temperatuuride kõikumised paneelide all on veidi väiksemad kui nende ümber. Suvel ja kevadel võivad päevased temperatuurid olla seal umbes 5°C madalamad kui ühendkuningriigis kui Prantsusmaal (Armstrong et al. 2016, Lambert et al. 2021), öised aga kõrgemad (Armstrong et al. 2016). Itaalias samas leiti, et kuigi päikesekiirgus on paneelide all madalam, siis temperatuur oli seal kõrgem kui paneelide vahel (Moscatelli et al. 2022). Kõrgem paneelide alune temperatuur võib teatud tingimustel tuleneda paneelide poolt kiiratavast soojuskiirgusest (Armstrong et al. 2014). Lisaks on ka tuule kiirus paneelide all oluliselt väiksem, ainult 14% kontrollalade tuulekiirusest (Armstrong et al. 2016), mis võib avaldada mõju ka temperatuuridele (Armstrong et al. 2014).

Sademetega ebaühtlane langemine ning vee aurumise erinevused paneelide all ja vahel põhjustavad PEJ-des mullaniiskuse heterogeensust (Adeh et al. 2018, Marrou et al. 2013a). Keskmine mullaniiskus PEJ-des aga ei pruugi muutuda, olles väheste seniste tööde põhjal pigem sarnane kontrollalade keskmisele (nt Adeh et al. 2018). Paneelide alla võib jõuda kas vähem (enamikes katsetes; Adeh et al. 2018, Moscatelli et al. 2022) või ka rohkem niiskust (Ühendkuningriigi katses jooksis vesi mööda päikesepaneelide konstruktsioone paneelide alla; Armstrong et al. 2016). Kuna aga aurumine paneelide all on väiksema päikesekiirguse intensiivsuse tõttu kuni 10-30% madalam (Marrou et al. 2013a), siis võib muld seal kauem niiske püsida (Adeh et al. 2018, Marrou et al.

2013a), kuigi ei pruugi (Moscatelli et al. 2022). Paneelide poolt põhjustatud muutused kohalikus mikrokliimas ei ole suured, kuid on siiski statistiliselt olulised (Adeh et al. 2018). **Eestis on PEJ mikrokliimaatilised mõjud tõenäoliselt pisut sarnased puudega niitudel valitsevatele tingimustele**, kus varjukamad alad vahelduvad päikeselisemate aladega. Keskkonnatingimuste heterogeensus soodustab ka liigilist mitmekesisust. Mitmekesised valguse-, temperatuuri- ning niiskustingimused loovad mitmekesiseid tingimusi, võimaldades erinevate nõudlustega liikidel koos eksisteerida.

Ühendkuningriigis teostatud katsetes ei muutnud temperatuuride erinevused kasvuperioodi pikkust paneelide all, kuid tõid kaasa väiksema efektiivsete temperatuuride summa (*growing degree days*) (Armstrong et al. 2016). **Põllumajanduses võib paneelide aluseid tingimusi ära kasutada varjutaluvate kultuuride kasvatamiseks ning see võib olla kasulik kuumalainete ajal** (Weselek et al. 2019; Trommsdorff et al. 2021) ning kastmisvee hulga vähendamiseks (Marrou et al. 2013a). Kõigi mikrokliima muutuste ja taime-mulla interaktsioonide koosmõjude kohta on siiski veel vähe teada (Armstrong et al. 2016).

Selle osas, millist mõju avaldavad suurte PEJ-de ümbritsevate alade kliimaatilistele tingimustele – mesokliimale – on samuti leitud vastuolulisi tulemusi. Leitud on nii kuumasaare (Barron-Gafford et al. 2016) kui ka külmasaare efekti põhjustamist ariidsetes piirkondades (Guoqing et al. 2021). Arizona kõrbepiirkonnas leiti, et 1 MW PEJ kohal oli öösi temperatuur 3-4°C kõrgem võrreldes ümbritsevate aladega ning aastane keskmine temperatuur oli seal 2°C kõrgem (Barron-Gafford et al. 2016). Teises töös, mis uuris Californias (300 MW) ning Hiinas Quingha provintsis (850 MW) asuvaid kahte PEJ-d, tuvastati aga hoopis kuni 2,3°C maapinna temperatuuri langust PEJ ümber. Temperatuuri alandav mõju ulatus kuni 730 m kaugusele. Millised erinevuse PEJ ehituses nii erinevat mõju ümbritsevatele temperatuuridele põhjustavad, on veel uurimisel (Guoqing et al. 2021). Samuti ei ole tõenäoliselt võimalik neid tulemusi otse parasvöötme tingimustesse üle kanda, kuid päikese kiirguse neelduvuse mustreid maastikulises skaalas PEJ alad kindlasti mõjutavad (vt nt **joonis 3**).



Joonis 3. Suvine taimkatteindeks (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) Tartumaal Jõgeva maantee kõrval asuva päikeseelektrijaama ümbruses 2021. aastal. Indeks näitab taimkattelt peegelduva ja neelduva päikese kiirguse spektriosade suhet. Punasemad/tumedamad piirkonnad näitavad väiksema taimede katvuse ning suurema lähifraktsiooni tagasipeegelduvusega alasid, rohelisematel aladel suurema taimestiku katvusega alasid. Indeksit kasutatakse ka kuumasaarte tuvastamiseks ja meso-mikrokliima kirjeldamiseks - punasematel aladel peegeldub soojuskiirgust rohkem tagasi. Andmed: Maa-amet 2021.

2.11 MÕJU INIMESTELE

Kohalikes inimestes võivad eriti suuremate PEJ-de arendused põhjustada vastuseisu. Inimeste ja oluliste kohalike osaliste põhjalik kaasamine projekti varastest etappidest alates on oluline ühiselt aktsepteeritava tulemuse saavutamiseks (Bennun et al. 2021b, Dhar et al. 2020).

Ehitusjärgus ning PEJ mahavõtmisel võib kohalikke elanikke häirida müra, vibratsioon ning tolmu, mille mõju on lühiajaline ning mitte kuigi suur (Bennun et al. 2021a, Consultare OÜ). Sellegipoolest on vaja kasutada nende mõjude vähendamiseks kõiki võimalikke vahendeid (Bennun et al. 2021b). Päikeseenergiajaama käitamise ajal võib peamiseks häirivaks teguriks olla visuaalne aspekt. Eksisteerib ka tulekahjude oht elektrisüsteemides, kuid see on suhteliselt väike (Lovich ja Ennen 2011, *intervjuud tootjatega*). Päikeseenergiajaama lammutamise (või näiteks tulekahjude) käigus võib vabaneda väikesed kogused ohtlikke kemikaale, sh näiteks kaadmiumi tolmu ja aurud võivad olla kartsinogeensed. Ohutust aitab tagada PEJ eluea lõppemisel nende ettevaatlik ja ökosüsteemi arvestav lammutamine ning paneelide ümbertöötlemine (Dhar et al. 2020).

Päikeseenergiajaama projekteerimine, ehitamine ja mahavõtmine tekitab töökohti, seeläbi on PEJ rajamisel sotsiaalmajanduslikult positiivne mõju (Consultare OÜ). Eriti on kasulik, kui selleks palgatakse kohalikke eksperte ning tööjõudu. Kohalikele võib tööd pakkuda ka PEJ aluse pinna hooldamine, niitmine või karjatamine. Samuti võib PEJ kohalikele elanikele anda ka energiasõltumatus (sõltuvalt võrguliitumise tingimustest) ning mitmekesistada energiaallikaid (Dhar et al. 2020).

Põllumajandustootjatele või kohalikele firmadele, kes oma tootmisel kasutavad päikeseenergiat, võib taastuenergia kasutamine aidata luua keskkonnasõbralikku kuvandit. Samuti võivad kohalikud põllumehed saada võimaluse seal loomi karjatada või heina niita või saada hoopis oma maa rendist lisasissetulekut (Schindele et al. 2020, Solar Energy UK 2022). Kui PEJ hooldatakse tolmeldajasõbralikult või peetakse seal mesilasi siis võivad põllumehed saada lisatulu ka läbi paranenud tolmeldamisteenuse (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2022).

Päikeseenergiajaamu on võimalik rajada ka nii, et need saavad olla sihtkohaks kohalikele ja külastajatele, võimaldades inimestele näiteks hariduslikke või puhketegevusi ning seeläbi tuua neid kogukondadele lähemale (vt ka peatükk 6.1.5; Lambert 2022, Pettersson et al. 2022, Solar Energy UK 2022). Kogukonnad võivad ka ise olla PEJ omanikeks ning kasutada sellest saadud tulu oma kogukonna arendamiseks. Näiteks Westmill Solar Co-Operative'i Ühendkuningriigis (vt töö kaanepilt) on üle 1500 omaniku ning organisatsioon toetab kogukonna arendamist heategevusühenduste ja grantide kaudu (Westmill Solar 2021).

PEATÜKI KOKKUVÕTE

- Päikeseenergiajaamade rajamise ja käitamise mõju on mitmete organismirühmade puhul veel suhteliselt vähe uuritud.
- Senised uurimused PEJ lühi- ja pikaajalistest mõjudest soontaimedele, putukatele (sh tolmeldajatele), lindudele, imetajatele, kahepaiksetele ja mullaelustikule näitavad, et mõju suund ja tugevus sõltuvad suuresti piirkonnast, ökosüsteemist kuhu PEJ on rajatud, PEJ pindalast, paneelide asetsemistihedusest ja hilisemast ala majandamise intensiivsusest.
- Mitmeid mõjusid on võimalik hästi valitud meetmetega ära hoida või leevendada, nt vältides PEJ rajamist heas seisus elupaikadesse või häiringutundlike ja kaitstavate liikide elupaikadesse ning rändekoridoridele, samuti vältida liigset mullahäiringut ning liiga tihedalt asetsevad paneeliridu (alla 10 m).
- PEJ aladel saab oskusliku planeerimise ja hoolduse korral parandada niidutaimede, tolmeldajatel jt putukate, põllumajandusmaastikes ka põllulindude ja mullaelustiku seisundit.

3.1 MÕJU SOONTAIMEDELE

Peamised mõjud soontaimedele, nagu ka paljudele teistele organismidele PEJ-des, tulenevad selle rajamisel kasutatud võtetest, valitud hooldusrežiimist ning paneelide tekitatud keskkonna heterogeensusest.

Päikeseenergiajaama rajamisel varasemalt koosluses olnud taimestik sageli hävitatakse kas herbitsiididega või mehaaniliselt, eriti kui on vajalik maapinna tasandamine (Bennun et al. 2021a, Fthenakis et al. 2011) või kui PEJ rajatakse väga võsastunud või metsastunud alale (Turney ja Fthenakis 2011). Kui tasandamist või kändude juurimist ei ole vaja teha, siis on võimalik rajada PEJ vundamente ka nii, et taimestikku kaablikraavide kaevamisega vaid minimaalselt häiritakse. Enamikel juhtudel sellist lähenemist ka Eestis kasutatakse (*intervjuud tootjatega*).

Peale rajamist (ja ka peale PEJ lammutamist), juhul kui on tekitatud suuremahuline häiring, sõltub mõju taimestikule valitud taastamise meetodist. Varasemalt alal esinenud taimestiku taastamiseks parim võte on kasutada taastamisel samalt alalt kokku kogutud mulda või seemneid. See on parim viis kohalike liikide ja genofondi taastamiseks (Dhar et al. 2020 ja viited selles). Kuna aga mullatingimuste taastumine peale PEJ rajamist võtab aega, siis ei pruugi ka taimestik kiiresti head seisundit saavutada. Eriti juhul, kui PEJ rajamise käigus kooritakse pealmine mullakiht ära ning seda ei laotata hiljem tagasi (Choi et al. 2020). Kui taimkatet kohe peale rajamist ei taastata, siis võib tuul hakata maapinnalt viljakat mulda ära viima (Hernandez et al. 2014), mõjutades omakorda ka taimestiku taastumist (Dhar 2020). Nagu ka teiste ehitusprojektide puhul, on ka PEJ-de puhul võimalik invasiivsete liikide soodustamine mullapinna häiringute tõttu (Bennun et al. 2021a).

Peale lammutamist saab PEJ alal uuesti looduslähedase koosluse taastada, kuid reaalne taastumine võib võtta oodatust kauem - aastaid või isegi kümnendeid (Turney ja Fthenakis 2011). Ka põllumaaks taastamine võib võtta aega, kuna mullas võib välja kujuneda väga heterogeensed tingimused (paneelide asetusest tingitud vöödid), kuid põllumaal on paremad homogeensed tingimused (Moscatelli et al. 2022).

Käitamise ajal paneelide aluse ja neid ümbritseva pinna hoolduseks valitud võtetel on taimestikule suur mõju. Mõnikord kasutatakse herbitsiide paneele ümbritseva maapinna hoolduses niitmise asemel või niidetakse väga sageli, et rohustut piisavalt madalana hoida (Turney ja Fthenakis 2011, Bennun et al. 2021a). Herbitsiidide

kasutamine alal vähendab kiiresti paljude rohttaimede esinemist (Montag et al. 2016). Samamoodi vähendavad liigirikkust liiga sagedas niitmine (Blaydes et al. 2022) ning pidev aastaringne karjatamine (Montag et al. 2016). Sobivalt valitud majandamisvõtetega on aga võimalik soodustada liigirikast ja ka muule elustikule soodsat taimestikku (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2021, Montag et al. 2016, Pettersson et al. 2022, Uldrijan et al. 2021).

Paneelide tekitatud keskkonnatingimuste erinevus paneelide all ja vahel mõjutavad erinevalt ka seal kujunevat taimestikku. Paneelide all on taimestik sageli liigivaesem kui paneelide ümbruses (Armstrong et al. 2016), samuti võib varjutuse tõttu olla muutunud liigiline koosseis (Uldrijan et al. 2021). Näiteks leiti Tšehhis paneelide alt rohkem üheaastasi taimi ja vähem kõrrelisi kui paneelide vahelt (Uldrijan et al. 2021). Siiski ei pruugi alati taimestikus olulisi erinevusi esineda, näiteks kuumemates piirkondades (Lõuna-Prantsusmaal; Lambert et al. 2021) või ka tavapärasest kõrgemate temperatuuridega aastal (Hollandis; Biesmeijer et al. 2020) selgitati erinevuste puudumist varju positiivse mõjuga taimedele, mis kaitses neid liigse päikesekiirguse, kuumuse ja ära kuivamise eest.

Piirkonna valguskiirguse intensiivsusest sõltub, kas fotosüntees ja produktsioon paneelide all kasvavad või kahanevad. Madala päikesekiirguse intensiivsuse korral toimub pigem taimede biomassi kahanemine, kõrge korral aga pigem kasvamine (Armstrong et al. 2014). Näiteks Moscatelli et al. (2022) leidsid Itaalias, et taimede biomass paneelide vahel ja all olid võrdsed, Ühendkuningriigis, aga oli biomass paneelid all neli korda väiksem kui paneelide vahel ja kontrollalal (Armstrong et al. 2016). Tiibeti alpiniidul aga olid biomass ja taimede katvus paneelide all oluliselt kõrgemad juba aasta peale PEJ rajamist (Liu et al. 2022). Eestis on tootjad täheldanud pigem paremat taimekasvu paneelide all (*intervjuud tootjatega*).

3.2 MÕJU PUTUKATELE, SH TOLMELDAJATELE

Sageli PEJ-des kasutatavad hooldusvõtted nagu tihe niitmine või ka herbitsiidide kasutamine on putukatele, sh tolmelajatele negatiivse mõjuga. Samas võivad PEJ-d olla elurikkust soodustavate hooldusmeetmete kasutamisel paljudele putukatele sobivad elupaigad ning toimida tolmeldajate ja kahjuritõrjes oluliste putukate tugialadena põllumajandusmaastikes (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2021). Seejuures võivad PEJ-d pakkuda elupaika ka mõningatele haruldastele (Biesmeijer et al. 2020) ning isegi ohustatud ja kriitiliselt ohustatud liikidele (Peschel et al. 2019, Raab 2015). Liblikate ja kimalaste puhul on leitud suuremat isendite arvukust PEJ-des kui kontrollaladel ning liblikate puhul oli PEJ-des kõrgem ka liigirikkus (Montag et al. 2016).

Oluline mõju putukate (rohutirtsude ja liblikate) liigirikkusele on leitud olevat paneeliridade tihedusel. Hõredamalt paiknevate paneeliridade vahel (vahe 5,5 m) leiti Saksamaal 40% rohkem liike kui tihedamalt (2 m) paiknevate paneeliridadega alal. Hõredama paigutusega paneeliridade vahel leiti ka rohkem haruldasi liike ning kõikidel leitud liikidel oli seal suurem arvukus kui tihedamate paneeliridade vahel (Peschel et al. 2019). Ka Eestis kasutatud paneeliridade vahedest (enamasti kuni 10 m (*intervjuud tootjatega*), kuigi esineb ka hõredama paigutusega jaamu) võiks hõredama paigutusega lahendused olla kasulikud nii putukate kui taimede liigirikkuse soodustamiseks.

Putukatele võib PEJ-des olla kasulik ka see, et paneelide all võib erinevate mikrokliimaatiliste tingimuste tõttu taimede õitsemine edasi lükkuda. Tänu sellele saavad taimed varustada putukaid, sh tolmeldajaid, nektari ja õietolmuga ka hilisemal aastaajal, kui muidu ressursse napib, kuid mis on osadele tolmeldajatele eriliselt oluline (Graham et al. 2021, Scheper et al. 2015).

Erisugune mõju on PEJ-des veeputukatele, keda tugevalt tõmbab ligi paneelidelt peegelduv polariseeritud valgus (Black ja Robertson 2020, Horváth et al. 2009). Selle efekti mõju ei ole veel hästi teada, kuid uuringud viitavad, et veekogude läheduses võib see olla olulise mõjuga, mõjutades putukate paljunemist (putukad munevad

paneelidele) ning toimida seega ökoloogilise löksuna (Bennun et al. 2021a, Black ja Robertson 2020, Harrison et al. 2017, Lovich ja Ennen 2011). On leitud, et see võib meelitada ligi putuktoidulisi linde ja nahkhiiri (Harrison et al. 2017), kuid ka selle kohta on infot veel vähe (Bennun et al. 2021a, Harrison et al. 2017).

Päikesepaneelidega osaliselt kaetud linnaparklates Californias on leitud, et päikesepaneelidest varjualused pakuvad samuti elupaika mitmekesisele selgrootute kooslusele. Seejuures oli selgrootute arvukus ja ökoloogiliste rühmade mitmekesisus oluliselt kõrgem siis, kui paneelide all esines ka taimestikuribasid (J. H. Armstrong et al. 2021).

3.3 MÕJU LINDUDELE

Päikeseenergia tootmisega kaasnev lindude hukkumine võrreldes teiste inimtekkeliste põhjustega, sh energiatootmisega (fossiilkütustest, tuulest ja hüdroenergiast) on hinnanguliselt väiksem (Hamed ja Alshare 2022). Kuna päikeseenergia kasutamine on jõudsalt laienenud alles viimastel kümnenditel, ei ole uuringuid selle mõjust linnustikule ülemäära palju, mis teeb hinnangu andmise PEJ mõjust linnustikule või elustikule üldisemalt keerukaks (Lafitte et al. 2022). Ka linnud ise võivad PEJ toimimist mõjutada, sest paneele istepaigana kasutavad linnud roojavad paneelidele või kannavad neile sodi, mis vähendab PEJ tõhusust (Boeing et al. 2022).

Sõltuvalt piirkonnast ja PEJ võimsusest (ehk suurusest/pindalast) võib mõju linnustikule siiski märkimisväärne olla. Kuigi lindude otsest hukkumist PEJ-des – lendamine paneelidesse või taristusse – hinnatakse reeglina väiksemaks kui tuuleenergiajaamades ja seega mõju asurkonnale väiksemaks, hindavad mõned autorid näiteks USA-s PEJ-des hukkunud lindude arvu tuuleenergiajaamades hukkunuga sarnaseks (Walston et al. 2016). Andmed lindude otsestest hukkumisest PEJ-des varieeruvad kordades, sõltuvalt arvesse võetud teguritest, näiteks kas arvestatakse ainult päikesepaneelides hukkunud lindude arvu, laipade otsimisviisi (jalgsi vs motoriseeritult), või kaasatakse ka PEJ infrastruktuur, milleks võib olla PEJ-d ümbritsev aed või jaamast lähtuvad õhuliinid (Smallwood 2022). Päikesepaneelide eneste tõttu ei pruugi linde üldse hukkuda (Visser et al. 2019). Lindude hukkumine sõltub PEJ asukohast, suurusest, tehnoloogilistest lahendustest, lindude rändekoridorist, veekogude lähedusest ja lindude rohkusest (Dhar et al. 2020). Kuna PEJ-de arendamine on tõusutrendis, rõhutavad autorid uuringute vajadust, mis annaks andmeid ja võimaldaks teha järeldusi PEJ-de taristu mõjust linnustikule (Gorman et al. 2023).

Maakasutuse muutusele reageerivad linnuliigid erinevalt. Seniste teadmiste põhjal võib väita, et maakasutuse muutusele on vähem tundlikud elupaiga generalistid (Buchan et al. 2022). Infrastruktuur on tegur, mis võib lokaalseid asurkondi oluliselt kahandada (Buchan et al. 2022), kui suur on aga PEJ-de roll selles, ei ole täpselt teada, sest vastavad uuringud ei pruugi teaduskirjandusse jõuda. Heal juhul kajastuvad andmed kohalikes uurimisraportites, mis ei ole üldsusele kättesaadavad (Zaplata ja Dullau 2022). Sageli on tulemused ka salastatud, ilmselt seepärast, et võivad kahjustada ärihuve. See võib olla ka põhjus, miks tänaseks päevaks ei ole head ülevaatlisku teadusuuringute kokkuvõtet, mis annaks selgeid juhiseid lindudega arvestamiseks PEJde rajamisel. Üldiselt on leitud, et otsese hukkumise mõju lindudele väiksem, kui elupaiga muutumisest põhjustatud mõju (Smallwood 2022, Visser et al. 2019). Päikeseenergiajaama ehitamise ajal taandub reeglina linnustik piirkonnast (Visser et al. 2019), kuid targasti tegutsedes võivad linnud alale naasta pärast ehitustööde lõppu (Nordberg et al. 2021), mõnel juhul võib siiski linnustiku koosseis oluliselt teiseneda (Visser et al. 2019). Smallwood (2022) soovib lisaks otsese hukkumise vältimisele pöörata kaks-kolm korda rohkem tähelepanu võimalustele vähendada või kompenseerida elupaiga muutumisest tulenevat mõju. Näiteks tuleks tõsiselt vaagida PEJ rajamise mõju lindude rändetele või ohustatud liikide elupaika.

Veelindude puhul on arvatud, et paneelidelt peegelduv polariseeriv valgus võib jätta petliku mulje veekogust (*lake effect hypothesis*), sarnaselt veeputukatele (Black ja Robertson 2020, Horváth et al. 2010). Teatud juhtudel võivad linnud ära õppida, et klaaspinnale kogunevad putukad on kerge saak (Pereszlenyi et al. 2017) ja kasutada PEJ toitumisalana, halvemal juhul põhjustades probleeme jaamale. Üldiselt veelinde maismaale rajatud PEJ-de paneelidelt peegelduv valgus siiski mõjutada ei tohiks (Bennun et al. 2021a, Kosciuch et al. 2021), kuid uuringuid

sellel teemal on veel tehtud vähe ning enamasti ariidsetes piirkondades (Kosiuch et al. 2021), mistõttu need tulemused ei pruugi olla otseselt Eesti tingimustesse ülekantavad. Küll aga tuleks silmas pidada, et veekogude lähedusse rajatud PEJ võib meelitada veeputukaid, kes omakorda võivad meelitada ligi linde.

Päikeseenergiajaam muudab keskkonna struktuuri, pakkudes iste- või pesitsuskohti lindudele (Nordberg et al. 2021), reeglina väiksematele lindudele, kes leiavad paneelide tugistruktuuride vahel soodsaid pesakohti (Hernandez et al. 2014, Peschel et al. 2010), kuid ka maapinnal pesitsevaile (näiteks nurmkanad; *intervjuud tootjatega*), kellele paneelid pakuvad varju röövlindude eest ning lisakaitset. Eestist on ka teada, et üks GPS saatjaga rukkirääk (*Crex crex*) on kasutanud elupaigana PEJd (Marja et al. 2022). Aiaga ümbritsetud PEJ välistab maismaakiskjate ligipääsu ja võib nõnda soosida PEJ-s elavaid linde. Samuti võivad paneelide vahelised kooslused olla head toitumiskohad lindudele, näiteks lõokestele, kes PEJ aladel küll ei pesitse, kuid käivad seal toitumas (Solar Energy UK 2022). Päikeseenergiajaamad võivad seega olla oluline võimalus kaitsta linde põllumajandusmaastikes (Montag et al. 2016).

On teada üksikud juhud, kus PEJ-st alguse saanud elektrilühis on põhjustanud maastikupõlengu, milles on hävinud linnupesad (Smallwood 2022).

Päikeseenergiajaamade mõju linnustikule on üldjoontes sarnane nagu ka tuuleenergiajaamades (Bennun et al. 2021a):

- *kokkupõrked paneelidega* – tõenäolisem paneeli vertikaalnurga suurenedes, sõltub ka paneeli pinna peegeldusest; risk hukkuda siiski väiksem kui õhuliinidel;
- *kokkupõrked õhuliinidega* – liinid halvasti nähtavad, kujutavad eelkõige ohtu suurtele kesise manööverdamisvõimega liikidele (röövlinnud, kured, toonekured, kanalised, hanelised). Soovitus oleks õhuliinid märgistada, teha lindudele paremini nähtavaks;
- *hukkumine elektrilöögist õhuliinides* – oht suurem suurekasvulistel liikidel, kes kasutavad elektriposte varitsuskohana (röövlinnud) või puhkepaigana (nt valge-toonekurg). Soovituslik on elektriposti lähistel liin paremini isoleerida;
- *kaudsed mõjud* – tulenevad liikide ümberpaiknemisest, ligipääsu piiramisest või majandustegevusest.

3.4 MÕJU IMETAJATELE, SH KÄSITIIVALISTELE

Suurimetajaid ning keskmise suurusega imetajaid võib lisaks ehitusaegsetele häiringutele PEJ juures häirida eelkõige võimalik liikumisteede blokeerimine. Seda eelkõige siis, kui tegemist on suuremate PEJ-dega või kui piirkonda satub kokku mitmeid jaamu (Bennun et al. 2021a). Päikeseenergiajaamad on sageli tarastatud, mis takistab nii suuremate kui keskmise suurusega imetajate liikumist. Luues loomadele sobilikke väravaid, tõstes aiad maast kõrgemale, jättes aedadesse vahesid, jagades PEJ-d mitmesse osasse või hoopis aedu ära jättes, on võimalik mõju loomade liikumisele oluliselt vähendada (Bennun et al. 2021a, Peschel et al. 2010, Turney ja Fthenakis 2011). Samas võib mõnel pool olla maaspesitsevate lindudele hea, kui väikeimetajate pääsemine PEJ alale on takistatud. Seetõttu on eelkõige vaja silmas pidada, et aedadega ei ümbritsetaks ühes maastikus liiga suuri alasid ning et loomadele jäävad alles sobilikud liikumiskoridorid, mis ei oleks näiteks surutud teeservadesse. Kui PEJ ala aiaga ei ümbritseta, siis ei tohiks liikumisteede blokeerimine probleem olla.

Mõnedele imetajatele võib PEJ ehitus ka sobida. Näiteks Ühendkuningriigis on PEJ aladel märgatud tunduvalt suuremat halljäneste arvukust kui ümbritsevatel aladel (Montag et al. 2016). Tundus, et see elupaik võib neile soodsalt mõjuda, kuid see info vajaks eraldi uuringuid. Halljäneseid ja rebaseid on märgatud PEJ-des ka Eestis (*intervjuud tootjatega*).

Päikeseenergiajaamade rajamise mõju käsitiivalistele on veel vähe uuritud. Võimalik, et paneelide juurde kogunevad putukad meelitavad ka nahkhiiri ligi ja on seega heaks toitumisalaks (Bennun et al. 2021a, Harrison et al. 2017). Samas, Montag et al. (2016) leidsid, et nahkhiirte aktiivsus PEJ kohal oli väiksem kui kontrollaladel.

Käsitiivalistel võib paneelidega kaasneda ka teatav kokkupõrkeoht (Bennun et al. 2021a, Greif et al. 2017, Harrison et al. 2017). On täheldatud, et nahkhiired peavad siledaid pindu mõnikord veekogudeks ja üritavad sealt juua. Eriti on seda täheldatud noorloomade puhul (Greif ja Siemers 2017). Veelgi suurem on kokkupõrgete oht vertikaalsete siledade pindade puhul (Greif et al. 2017). Seega on võimalik, et vertikaalselt paigaldatud päikesepaneelid võivad endast kujutada käsitiivalistele teatavat ohtu, kuid raske on hinnata maapinna suhtes kaldu asetatud paneelide mõju. Kokkupõrgetega kaasneva hukkumise riski kohta on andmeid vähe, kuid Smallwood (2022) hindas hukkuvate käsitiivaliste hulka USA-s California osariigis ning leidis et fotogalvaaniliste paneelide puhul on hukkuvate käsitiivaliste arv väga väike.

3.5 MÕJU KAHEPAIKSETELE

Päikeseenergiajaamade mõju kahepaiksetele on praktiliselt uurimata. Siiski võib eeldada, et tänu ekstensiivsele majandamisele võivad PEJ-d olla kahepaiksetele sobivaks elupaigaks ja läbirändekohaks. Samuti tagab ekstensiivne majandamine ka kahepaiksetele piisava toidulaua. Paneelide alused varjulised tingimused võivad neile samuti hästi sobida (Peschel et al. 2019). Eriti kasulik on see, kui PEJ alale jääb või on rajatud mõni väikeveekogu (Magnus ja Rannap 2019, Peschel et al. 2019, Rannap et al. 2009).

3.6 MÕJU MULLAELUSTIKULE

Päikeseenergiajaamade mõju mullaelustikule on samuti vähe uuritud. Võib eeldada, et mida väiksem on rajamisel mullahäiring, seda väiksem on ka mõju mullaelustikule. Juhul kui PEJ rajatakse endisele põllumaale ning majandatakse niiduna, siis mõjub see mullaelustikule kindlasti positiivselt, kuna niitude mullaelustik on põldude omast tunduvalt rikkalikum (Postma-Blaauw et al. 2012, Oehl et al. 2017).

Paneelide alused keskkonnatingimused muudavad elutingimusi ka mullaelustikule. Näiteks leiti Hiina ariidsetel stepirohumaadel, et süsiklaste hulgas (Tenebrionidae), kes on sealsetel rohumaadel domineeriv mullaputukate rühm, vähenes PEJ-des dominantsete liikide arvukus, andes seega paremad võimalused vähemarvukatele liikidele (Tsafack et al. 2022).

Keskkonnatingimuste muutused mõjutavad ka kohalikku mikroobikooslust, millel võivad olla tagajärjed ala süsinikuringlusele. Seejuures sõltub muutuste suund oluliselt koosluse tüübist ja majandamise intensiivsusest (Armstrong et al. 2014). Näiteks Lõuna-Prantsusmaa kolmes päikesepagis leiti mõningane mikrobioomi funktsioonide langus võrreldes (pool)looduslike kooslustega, kuigi samas mikrobioloogiline mulla kvaliteedi indeks (mSiQ) ei olnud oluliselt erinev (Lambert et al. 2021). Tiibeti alpiniidul aga leiti, et prokarüootide mitmekesisus langes paneelide all aja jooksul (vaadeldi kuue aasta jooksul peale rajamist), tõenäoliselt suurenenud mullaniiskuse tõttu. Samas seente mitmekesisuses olulisi erinevusi ei leitud (Liu et al. 2022). Kuna Eesti keskkonnatingimused on väga erinevad nimetatud näidetes toodust, siis on nende tulemuste ekstrapoleerimine Eesti tingimustesse väga keeruline ning PEJ mõju mullaelustikule vajaks põhjalikumat uurimist.

PEATÜKI KOKKUVÕTE

- Päikeseenergiajaamade asukohaks on oluline valida kohad, kus selle rajamine ei kahjusta loodust, vaid pigem aitab koosluste seisundit parandada.
- Reeglits võiks olla, et PEJ rajamisega peaks kaasas käima piirkonna elurikkuse seisundi ja ökosüsteemi funktsioonide paranemine.
- Päikeseenergiajaam ning sellega seotud infrastruktuur ei tohiks suurendada maastike killustumist ega takistada loomade liikumisteid.
- Ökoloogiliste protsesside toimimiseks on parem pigem väiksem paneelide tihedus ja suuremad vahed paneeliridade vahel kui vastupidine (tihedamalt paneelidega kaetud alad).

Kuhu päikeseenergiajaamasid mitte rajada:

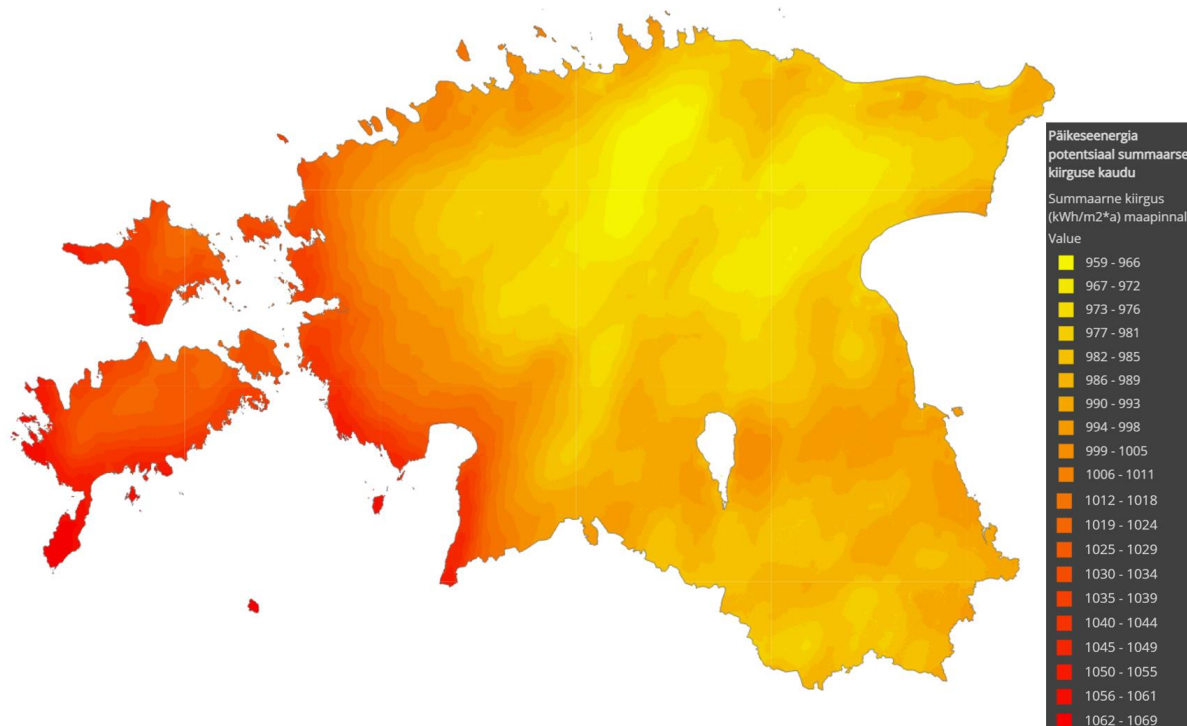
- kõrge loodusväärtusega ja/või kaitstavatesse elupaikadesse ja maastikesse;
- metsadesse ja heas seisus elupaikadesse (sh heas seisus märgaladele);
- paikadesse, kus nad suurendavad elupaikade killustumist ja takistavad loomade liikumist (rohekoridoridesse) või rännet (olulised rändealad);
- kultuuriliselt olulistesse paikadesse, sh kogukondlikult ja kultuuriliselt oluliste vaadetega maastikesse.

Eelistatud kohad rajamiseks on:

- juba olemasolevad rajatised ja objektid ehk kohad, kus PEJ rajamiseks ei võeta lisanduvalt maad (hoonete katused, parklad, taristuobjektid jt);
- tugevalt reostunud alad;
- olemasolevad teist tüüpi energiajaamad (tuulepargid jm);
- suure inimõjuga alad (karjäärid, hall- ja tehisalad);
- ökoloogiliselt degradeerunud (viletsas seisus) ökosüsteemid kombineerituna elupaikade ökoloogilise taastamisega;
- intensiivses kasutuses põllumajandusmaad, kuhu PEJ sobib maastikuelementidena või liigivaestele püsirohumaadele;
- integreerituna põllumajandustegevustesse (agro-PEJ süsteemid) jm intensiivsesse maakasutusse.

4.1 RUUMILISE PLANEERIMISE TÖÖRIISTAD JA KAARDIKIHID

Eesti on päikeseenergia tootmiseks sobilik piirkond, kuid ka Eesti-siseselt varieerub summaarne päikesekiirguse hulk eri piirkondade vahel märkimisväärselt. Keskkonnaagentuuri [ELME projektis](#) (Elurikkuse sotsiaalmajanduslikult ja kliimamuutustega seostatud keskkonnaseisundi hindamiseks, prognoosiks ja andmete kättesaadavuse tagamiseks vajalikud töövahendid" on kaardistatud päikeseenergia pikaajaline keskmine aastane potentsiaal, mis varieerub vahemikus 890-1179 kWh/m²/a, olles suurem rannikualadel ning saartel ja väiksem Lõuna- ning Kesk-Eestis (Helm et al. 2021) ([joonis 4](#)).



Joonis 4. Päikese otsekiirgus (kWh/m²*a) maapinnal. ELME projekti raames tehtud analüüs (Helm et al. 2021)

Lisaks energia kättesaadavusele on aga äärmiselt vajalik silmas pidada ka maastikulist konteksti ning ökosüsteemide seisundit ning soovitusel ja põhimõtted rajamisotsuste tegemiseks on toodud allpool (ptk 4.1. ja 4.2). Praktilisest küljest on rajamiseks sobivate ja mittesobivate alade tuvastamiseks soovitatav kasutada [ELME projekti raames koostatud kaardikihte](#) ökosüsteemide seisundi, leviku ja sidususe kohta ning olulisemate looduse hüvede paiknemise kohta maastikes ([joonis 5](#)). Kaardikihid täienevad 2023 kevadel. Lähenedamine võimaldab omavalitsuse tasandil koostada kõrge loodusväärtusega, kliimamuutusi leevendava väärtusega (suure süsinikuvaruga), looduse sidusust hoidvad või olulisi looduse hüvesid pakkuvad ökosüsteemid (nn kuumad punktid). Samuti joonistuvad välja nn "külmad punktid", kus vastavad väärtused ja hüved on oluliselt madalamad. Uue taristu või muude objektide, sh päikeseelektrijaamade, rajamisel tuleks eelistada nn külmasid punkte. Lisaks tuleb ajal tuleb nn külmade punktide puhul hinnata, kas tegu võib olla piirkonnaga, kus olulised loodusväärtused (ökosüsteemide seisund, ökosüsteemiteenuste pakkumine) on taastamisvajadusega ning kas seal võiks olla võimalik rakendada integreeritud ehk mitmetarbelist maakasutust (nt taristu rajamine koos elurikaste alade taastamisega, päikese-tuuleparkide rajamine koos liigirikkuse või veerežiimi taastamisega jne).

Näiteks on Kiili vald katsenud koostöös Keskkonnaagentuuri ja TÜ spetsialistidega, kuidas kasutada ELME projekti kaardikihte rohevõrgustiku funktsioneerimise parandamiseks ning erinevate maakasutuslike otsuste tegemiseks ([Rohevõrgustiku planeerimine ja toimivuse hindamine Kiili valla näitel](#)). Oskuslik ruumiline planeerimine aitab tagada rohevõrgustiku toimimise ning looduse hüvede ja elurikkuse säilimise igas maastikus ning võimaldab teha informeeritud otsuseid uute rajatiste parimaks paigutamiseks. Lisaks ELME projekti kaardikihtidele saab abimaterjaline kasutada ka Tartu Ülikooli teadlaste välja töötatud [Rohemeetrit](#).



Joonis 5. Eesti ökosüsteemide seisund, ELME projekt. Veel säilinud heas ja keskmises seisus ökosüsteeme tuleb hoida ja nende omavahelist sidusust parandada. Viletsas seisus ökosüsteemide puhul on tungiv ökoloogilise taastamise vajadus ja/või integreeritud ehk mitmeotstarbelise maakasutuse loomise vajadus.

4.2 KUHU PÄIKESEENERGIAJAAMU MITTE RAJADA

Hoolika asukohavaliku ja planeerimise korral on võimalik PEJ rajamisel hoiduda liigsest keskkonnakahjust ning isegi panustada looduse taastamisse ning kaitseks (Bennun et al. 2021b). Asukohavalikul on kõige olulisem silmas pidada, et PEJ ei rajataks kõrge loodusväärtusega piirkondadesse, seal hulgas kaitsealadele, loodusdirektiivi elupaigatüüpidesse, kultuuriliselt olulistesse või muul põhjusel olulistesse kohtadesse (Bennun et al. 2021b, Dhar et al. 2020, Finn ja McKenzie 2020, Fluri 2009, Pettersson et al. 2022, Stoms et al. 2013). Lisaks on vaja arvesse võtta PEJ-de mõju looduse hüvedele (Bennun et al. 2021b) ning looduslikele puhkealadele (Tawalbeh et al. 2021), elupaiga degradeeritust ning olemasoleva infrastruktuuri lähedust (Doljak ja Stanojević 2017, Finn ja McKenzie 2020, Stoms et al. 2013, Wu ja Geng 2014) ning rohevõrgustiku olemasolu.

Kui välja arvata mikrolahendused nt karjaedade jaoks pärandniitudel (**joonis 6**), siis **EL-i loodusdirektiivi elupaigatüüpide ning loodus- ja linnudirektiivi liikide elupaikade kaitseks moodustatud range kaitsega alad** kui looduslike protsesside toimimise turvaalad **ühegi suurusega PEJ rajamiseks ei sobi** (isegi kui kasutatakse leevendusmeetmeid).

Keskmise suurusega PEJ rajamine võib kõne alla tulla **leebema kaitsekorraga aladel**, kui PEJ integreeritakse olemasolevate hoonetega (nt kaitstavatel aladel õuealade piires või tootmishoonete kõrval) või see rajatakse muudele tugeva inimõjuga aladele. Ka sel juhul on **vajalik rajamist väga hoolega kaaluda** (jättes muu hulgas kõrvale EK loodusdirektiivi elupaigatüübid, loodus- ja linnudirektiivi liikide kui teiste kaitse-eesmärgiks olevate ja kaitsealuste liikide elupaigad) ning sageli on **vajalik keskkonnamõju leevendavate meetmete kasutamine**. **Tööstusliku suurusega PEJ ei ole enamasti rajatav ka leebema kaitsekorraga alale.**

Tööstuslikud ja keskmise suurusega PEJ-d ei sobi EK loodusdirektiivi elupaigatüüpidele ning enamasti ka loodus- ja linnudirektiivi liikide elupaikadesse ka **väljaspool kaitstavaid alasid**, seal tuleb PEJ lubatavuse kaalumisel **lähtuda liigi seisundist, eluala ulatusest, mõjutatusse määrast jms.**

Väikesed ja mikrotootmisüksused võivad sobida kaitsealadele kohalike vajaduste katmiseks hästi, eriti kui seeläbi välditakse suuremate energiainfrastruktuuride väljaehitamist. Näiteks saaks neid kasutada elektrikarjuste (joonis 6) või külastajate parklate tarbeks, ilma et oleks vaja ehitada välja suuremat infrastruktuuri kesksest võrgust kaugemal asuvatel aladel. Iga olukorda oleks siiski vaja eraldi üle vaadata, et tagada negatiivsete mõjude puudumine keskkonnale (Bennun et al. 2021b).



Joonis 6. Elektrikarjust varustav päikesepaneel (foto: Oliver Dixon, Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.0)

Kaitsealade lähedusse võib PEJ rajada ainult siis, kui nende mõju ei ulatu kaitstavale alale (Bennun et al. 2021b) ega ohusta kaitstavate liikide elupaiku (sh PEJ-ga seotud elektriliinid, ühendusteed vm infrastruktuur). Kuna PEJ mõjuala on suurem rajatise enda alusest pindalast, siis tuleb jälgida, et ka see mõjuala asuks eemal väärtuslikest (pool)looduslikest kooslustest (Consultare OÜ) või kaitstavate liikide elupaikadest.

Asukoha valikul tuleb silmas pidada ka seda, et **rajatav PEJ ning sellega seotud infrastruktuur ei suurendaks maastike killustumist ega takistaks loomade liikumisteid** (Bennun et al. 2021b). Selle jaoks on parim, kui PEJ-d asuksid olemasolevate rajatiste lähedal (katused, õuealad, tootmishoonete ümbruses jne) (Consultare OÜ 2020). Kumuleeruvate mõjude vältimiseks tuleks vältida mitmete PEJ-de rajamist ühte piirkonda.

Metsaaladele üldiselt PEJ ei rajata (De Marco et al. 2014, Doljak ja Stanojević 2017, Finn ja McKenzie 2020, Stoms et al. 2013, Turney ja Fthenakis 2011), sest sellel juhul on vajalik alal eksisteeriva koosluse täielik hävitamine. Samuti on muudab see PEJ rajamise oluliselt kallimaks, kuna enne rajamist on vaja eemaldada nii puud kui ka juurida välja kännud (Turney ja Fthenakis 2011). Võsastunud endisele põllumaale on PEJ Eestis rajatud, kuigi ka seda varianti ei kasutata kuigi sageli (*intervjuud tootjatega*).

Päikeseenergiajaamade rajamist tuleks vältida ka kooslustes, kust selle ehitamise käigus võiks lenduda palju süsinikku, näiteks turbaaladele, juhul kui PEJ rajamisega kaasneb ala kuivendamine või kuivendussüsteemide rekkimine. Turvasmuldadel, mida ei ole vaja kuivendada, on PEJ ehitamise mõju tõenäoliselt väiksem (täpsemad uuringud siiski puuduvad). Juhul, kui PEJ ehitatakse endisele turvasmullal asuvalle haritavale maale ning selle alust pinda majandatakse edaspidi niiduna, siis on see tegevus suure tõenäosusega kasulik nii elurikkuse kui ka süsiniku sidumise poolest (Manchester et al. 1999, Worrall et al. 2010).

Väärtuslikul ja aktiivses kasutuses põllumaal võib väiksema PEJ rajamist kaaluda maastike mitmekesistamiseks vajaliku maastikuelemendina, mida majandatakse looduse hüvesid (nt tolmeldamist ja looduslikku kahjuritõrjet) silmas pidades. Soovitatav võiks siiski olla päikeseenergia tootmise sidumine põllumajandustegevusega, näiteks varjataluvate kultuuride kasvatamisel (vt [lähemalt peatükki 6.3](#)).

Asukohavalikul on lisaks on vaja arvesse võtta ka PEJ mõju kohalike kogukondade õigustele (Bennun et al. 2021b). Selleks on nii asukohavalikul kui ka kõigis järgnevates planeerimise, rajamise ning utiliseerimise etappides vaja teha tihedat koostööd kohalike kogukondadega.

Rohevõrgustiku koridoridesse keskmisi ja suuri PEJ rajada ei tohi, välja arvatud juhul, kui neid planeeritakse rajada seni intensiivselt kasutatavale põllumajandusmaale või muudele ökoloogiliselt degradeerunud aladele, mille tulemusena rohekoridori toimimine pigem paraneb. **Rohevõrgustikus tuleb vältida liikide levikukoridoride osalist või täielikku sulgemist. Oluline on tagada, et väikeimetajatele ja mitte metsasisestele elupaikadele spetsialiseerunud liikidele suunatud koridoride puhul säiliks koridor vähemalt 100 meetri ulatuses ning sellest vähemalt 50 meetri laiune riba oleks katkematu** (vt ka Kohv 2007). Lisaks peab tagama, et koridoris oleva PEJ ümber oleva aia ning teiste piirkonna aedade vahekaugused oleksid vähemalt 200 meetrit. Aedade ja PEJ rajamisel tuleb jälgida, et liikide levikuteed ei oleks "surutud" PEJ ja maantee või asula vahele ning et aiad võimaldaksid väikeste ja keskmise suurusega imetajate liikumist läbi PEJ. Metsaökosüsteeme ühendavates koridorides olla PEJ-d ega majade õuealad või kruntidele rajatud aiad olla üksteisele lähemal kui 400 meetrit, kuna uuringud näitavad, et suurulukitele ja metsasisestele elupaikadele spetsialiseerunud inimpelglikele ning aeglaselt levivatele liikidele on vaja minimaalselt 400 m laiust koridori (Kohv 2007).

Rohevõrgustiku tuumaladel kehtivad samad põhimõtted nagu erinevatesse ökosüsteemidesse rajamisel – rajada ei tohi oluliste väärtustega ökosüsteemidesse. Degradeerunud ökosüsteemidesse rajamisel peab PEJ rajamise kombineerima ala ökoloogilise taastamisega.

Lisaks on olemas juba praegu piirangud ehitamisele nt veekogude piiranguvööndis, maanteed piiranguvööndis, kõrgpingeliinide all jne (*intervjuud tootjatega*).

Näide keskkonnamõju planeerimise olulisusest ja kaitsealade vajaduse arvestamisest võib tuua Lõuna-Koreast, kus eelkõige keskmise suurusega PEJ-de rajamisel (nendel defineeritud kui 0,5-10 MW võimsusega) ei arvestatud maastikke ja elurikkust, võttes peamiselt arvesse ainult majanduslikke kaalutlusi (kulutõhusus ja ehitamise efektiivsus). Kui see oli majanduslikult sobiv, siis ehitati isegi kaitstavatele aladele. **Pärast rajamist tuvastati, et nii suured kui keskmise suurusega PEJ-d omasid tugevaid negatiivseid mõjusid kaitstavate alade ökosüsteemide seisundile ja sidususele ning kaitse eesmärgiks olevatele liikidele ja elupaikadele, põhjustades elupaikade kadu ja elupaikade seisundi halvenemist** (Kim et al. 2021). On oluline tagada, et taastuenergiaeesmärgi saavutamiseks ei ohustataks sama olulist eesmärki hoida ja taastada elurikkust, erinevaid liike ja ökosüsteeme, nende sidusust ning erinevaid looduse hüvesid. Seetõttu peavad kehtima ka PEJ alade rajamisel selged põhimõtted ja juhised, mis välistavad looduse kahjustamist. Silmas tuleb pidada ka ettevaatusprintsipi - pikaajalised mõjud on veel vähe teada ning seetõttu tuleks alati ruumilises planeerimises eelistada taastuenergialahenduste rajamisel kohti, kus võimalik kahju on kõige väiksem.

Negatiivse keskkonnamõju vältimiseks on oluline **tihe koostöö elustiku ekspertide ning keskkonnaorganisatsioonidega** (Pettersson et al. 2022). Eestis saab asukohtade eelvalikul kasutada ka **ELME projekti raames koostatud ökosüsteemide seisundi ja looduse hüvede kaardikihte** (vt Keskkonnaagentuur -> **ELME projekt**). Eelvalikule järgneb juba täpsemate uuringute tegemine (vt [peatükk 4.1](#).)

4.3 KUHU PÄIKESEENERGIAJAAMU PIGEM VÕIKS RAJADA

Päikeseenergiajaamade rajamisel on oluline vältida negatiivset mõju loodusele ning võimalusel parandada ala seisundit ning suurendada selle elurikkust. Majanduslikust seisukohast on mõistlik uute PEJ rajamine olemasolevate elektrivõrkude lähedusse ning sinna, kus toimub toodetava elektri tarbimine.

1) Eelkõige on parim rajada PEJ kohta, **kus selleks ei kulu lisanduvat pinda** – katused, fassaadid, parklad (joonis 7; Tawalbeh et al. 2021), kiirteede piirded (De Schepper et al. 2012, Poe et al. 2017), tööstuspiirkonnad jne, kus nende keskkonnamõju on praktiliselt olematu (Hernandez et al. 2014). Sageli on need asukohad ka suuremate tarbimiskohtade juures. Arendamisel on isegi võimalused paigutada paneele raudteerööbaste vahele (Enkhardt 2023), maantee kohale (Enkhardt 2020) või hoopis integreerida need teepinna kattes (Solar Roadways 2023), kuigi vähemalt neist viimane on juba osutunud oodatust keerulisemaks (Zeeshan 2022).

Näited: Prantsusmaal võeti novembris 2022 vastu seadus, et enamik rohkem kui 80-kohalistest parklatest tuleb katta päikesepaneelidega. Samuti on kavas PEJ rajamine kiirteede ja raudteede ümbrusse (Dent 2022). Ka Saksamaal on 110 m laiused ribad teede ja raudteede ääres määratud kui ühed eelistatud kohad, kuhu PEJ ehitada (Schindele et al. 2020).



Joonis 7. Päikeseenergiajaamad parkla kohal (fotod: Kevin Dooley, Wikimedia Commons, CC BY 2.0 (vasakul); Hanjin, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 (paremal)).

2) Väga head kohad on ka **vanad prügilad, kaevandusalad, reostatud alad ja teised tugevalt inimestest mõjutatud alad** (Al Heib ja Cherkaoui 2021, Dhar et al. 2020, Szabó et al. 2017, Tawalbeh et al. 2021).

Euroopa kohta on tehtud analüüs, milles arvatati päikeseenergia tootmise potentsiaali praeguste ja endiste söekaevanduste aladel ja nende ümber ning nendega seotud tööstushoonete katusel. Leiti, et nendel aladel on potentsiaali toota sama palju energiat kui praegu söest saadakse (Bódis et al. 2019). Samuti on hinnatud potentsiaali vanade prügilate (sh tööstusjäätmete ladustamiskohtade) ja nende ümbruse kasutamiseks PEJ asukohana Euroopas ning leitud selle olevat kasuliku nii majanduslikust kui sotsiaalsest aspektist (Szabó et al. 2017).

Näide: Salmendorfi PEJ Münheni lähedal on kunagine kruusakaevandus, mis täideti ehitusprahi ja muude jäätmetega, kaeti mullaga ning kasutati seejärel põllumaana kuni PEJ rajamiseni (Peschel et al. 2010).

3) Võimalik on rajada **hübriidsüsteeme, näiteks koos tuuleenergia tootmisega** (joonis 8; AECOM 2016, Tawalbeh et al. 2021) või ka koostöös olemasolevate fossiilsetele kütustel põhinevate jaamadega (Hernandez et al. 2014, Salameh et al. 2020), et toota samal pindalal rohkem energiat.



Joonis 8. Päikese- ja tuuleenergia koostootmisjaam (foto: IvanStoter, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0).

4) Üks uudsem variant on **integreerida päikeseenergia tootmine põllumajandussüsteemidesse** ning tõsta sellega maakasutuse efektiivsust (SolarPower Europe 2021a, Trommsdorff et al. 2022). Näiteks on see võimalik integreerituna kasvuhoonetesse (La Notta et al. 2020), varjataluvate kultuuride kasvatamisel, põlluservadesse looduse hüvede tugialadena (Montag et al. 2016), heina- ja karjamaadele jne.

Näide: Hollandis Care Farm De Mikkelfhorst on nõ multifunktsionaalne ala, kus kasutatakse ära ajalooliselt kraavitud maastikke (poldriala) kasvatamaks koos päikeseenergia tootmisega pähkleid ja erinevaid marju, näiteks mustikad, põldmurakad, jõhvikad, vaarikad (Duurzaam Haren 2022).

5) Looduslikele aladele **eelistada alasid, kus muld ja ökosüsteemid on juba degradeerunud** ning tekitatav kahju seega väiksem. Näiteks mahajäetud või degradeerunud põllumajandusmaid (Lambert et al. 2021), kus PEJ-d saavad pakkuda elupaiku ja suurendada elurikkust (Montag et al. 2016). Samuti linnade lähedasi jäätmaid või vanu tööstusalasid, mis sobivad inimesi kaasavate PEJde ehituseks. Ökoloogilise taastamise võtete kasutamise korral võib sellistel aladel olla võimalik ökosüsteemi funktsioonide toetamine ja taastamine.

6) Maakasutuse vähendamiseks on võimalik PEJ paigaldada ka veepinnale (vt näiteid Hernandez et al. 2014). Ka ujuvate PEJ puhul on eelistatud **paigaldamine eelkõige tehisveekogudele**, näiteks tehiskärged, kaevandusalade tranšeed, hüdroelektrijaamade juurde (Almeida et al. 2022) või ka reoveepuhastusjaamadesse (Rosa-Clot et al. 2017) ning kombineeritult tuuleenergiajaamadega (López et al. 2020), vältimaks võimalikku kahju looduslikele süsteemidele. Tähele tuleb panna, et Eestis on hüdroelektrijaamade paisjärged enamasti juba üsna looduslähedased ökosüsteemid ning nendele PEJ rajamise soovi korral tuleks hoolega kaaluda selle võimalikku keskkonnamõju. Eelistada tuleb juba niigi tugeva inimõjuga veekogusid.

Maastike puhul on oluline arvesse võtta selle ajaloolist ilmet ning kasutust - kas alad on olnud lagedad, mosaiiksed, põllumajanduslikud, loodusmaastikud või olulised inimestele puhkemaastikena. Hea on säilitada maastike ajaloolist ilmet ja funktsiooni või proovida seda taastada. Planeerimisel on oluline toetada loodusmaastike sidusust ning kasutada PEJ ära selleks, et luua tugialasid pärandniitudele ning soodustada

seeläbi looduse hüvesid. Kohalike oludega arvestamine suurendab kohalike toetust ja saab avaldada tõeliselt positiivset mõju, mitte ainult kahjusid leevendada (Oudes et al. 2022).

Erinevate elementide vahel võivad ka esineda lõivsuhted. Näiteks võivad põllumajandusmaastikes kõrgemale tõstetud paneelid olla esteetiliselt ebameeldivamad. Maastike, inimeste või loodusega arvestamine aga vajab sageli kas rohkem maad või siis vähendab toodetava elektri hulka. Seetõttu on vaja leida koostöös erinevate huvigruppidega sobiv tasakaal eri aspektide vahel. See on ka üks põhjus, miks on PEJ hea ehitada sinna, kus paneelid ei võta lisapinda või kus saab nendega asendada mõne praegu eksisteeriva struktuuri.

Kõigi maapinnale rajatavate PEJ, eelkõige keskmiste ja suurte PEJ-de (arendusprojektide) puhul tuleks arvestada nii maastike kui elurikkusega. Seejuures on oluline mitte ainult vältida nende kahjustamist ([vt peatükk 4.1](#)) vaid ka parandada ala planeerimisega maastike omadusi (näiteks sidusust) ning säilitada ja luua elupaiku liikidele (Montag et al. 2016, Oudes et al. 2022). Elupaikade loomine ja loodussõbralik hooldamine on võimalik lihtsate ja kulutõhusate vahenditega kõigis PEJdes. Mida enam saab PEJ-de rajamisel ja hooldamisel erinevaid liike ja looduse hüvesid soodustada, seda parem, aga ka vähesed tegevused tulevad kasuks. Erinevatest lahendustest on lähemalt juttu **peatükis 6**.

PEATÜKK 5. PÄIKESEENERGIAJAAMADE RAJAMISE HEA TAVA JA LEEVENDUSMEETMETE HIERARHIA

PEATÜKI KOKKUVÕTE

- Enne suuremate PEJ-de rajamist oleks vajalik teha uuringud eri keskkonnatingimuste ja liigirühmade osas kui ka mõju osas maastiku sidususele ja looduse hüvedele. Neist lähtudes saab koostada parimad planeerimisvõtted ning sobivaimad leevendusmeetmed (maastiku ja elurikkuse hoolduskavad).
- Päikeseenergiajaamade rajamisel järgi head tava: 1. planeeri elurikkust ja maastikke arvestades; 2. järgi leevendusmeetmete hierarhiat, 3. võta arvesse kohalike elanike vajadusi; 4. vii vajadusel läbi uuringuid/küsitlusi, et riske mõista ja leevendada.
- Järgi leevendusmeetmete hierarhiat ehk keskkonnamõjude leevendamise eelistatud järjekorda: 1. vältimine, 2. minimeerimine, 3. taastamine, 4. hüvitamine ehk kompenseerimine.
- Eesmärgiks võiks olla, et keskmise ja suure PEJ rajamise tulemusena elurikkus, koosluse seisund ja ökosüsteemi funktsioonide seisund piirkonnas paraneb.
- Pikaajaline elurikkuse seire PEJ-s on vajalik hooldusvõtete kohandamiseks vastavalt elustiku ja keskkonna seisundile.

5.1 PÄIKESEENERGIAJAAMADE RAJAMISE HEA TAVA

Keskmise suurusega ja suurte PEJ-de rajamisega seoses oleks hea järgida nõu head tava, mis kätkeks järgmisi punkte (Bennun et al. 2021b):

- 1) Võta arvesse elurikkuse säilitamise ja taastamise vajadust ning maastikulist konteksti juba esmasest planeerimisest alates;
- 2) järgi töö jooksul leevendusmeetmete hierarhiat;
- 3) võta igas etapis arvesse kohalike elanike õigusi ja vajadusi;
- 4) vii vajadusel läbi uuringud ja küsitlused, et mõista võimalikke riske.

Peamine elementaarne keskkonnanalane nõue peaks seejuures olema, et elurikkust ja keskkonda püütakse kahjustada nii vähe kui võimalik ning lõpptulemusena peaks elurikkus alal ja ümbruskonnas olema kõrgem kui algselt (Solar Energy UK 2022, SolarPower Europe 2021b). Ühendkuningriigis on juba alates 2019. aastast nõue, et kõik uued rajatavad PEJ-d peavad elurikkust suurendama (Taylor et al. 2019). Edaspidi on planeeritud ka vastavad toetuskeemid selle saavutamiseks (Solar Energy UK 2022). Elurikkuse suurendamise eesmärki on maapinnale kinnituvate PEJ-de puhul lihtsam saavutada, kui planeerida PEJ-d eelkõige degradeerunud (viletsas seisus) kooslustesse ning järgida hoolikalt planeeritud leevendusmeetmeid. Parimad leevendus- ja hooldusmeetmed on sellised, mis lähtuvad kohalikest oludest ning maastiku ajaloost ning tuleb igal juhul eraldi välja töötada koos kohalike elustiku ekspertidega (Peschel et al. 2019, SolarPower Europe 2021b).

Enne suuremate PEJ-de rajamist oleks vajalik teha uuringud eri keskkonnatingimuste ja liigirühmade osas, kus oleks analüüsitud mõju maastiku sidususele ja rohevõrgustiku toimimisele (loomade liikumisteedele), mõju maastike visuaalsele küljele ning kirjeldatud muldade seisund ja muldade süsinikuvaru hoidmise võimalused, taimestik ja tuvastatud kaitsealused liigid. Ühendkuningriigis näiteks soovitatakse teha maastike ja elustiku seiret vähemalt 2 km raadiuses planeeritava ala piirist (Solar Energy UK 2022). Nende põhjal saab koostada juba planeerimisjärgus koos ekspertidega kohalikest oludest lähtuva **maastiku ja elurikkuse hoolduskavad**, milles

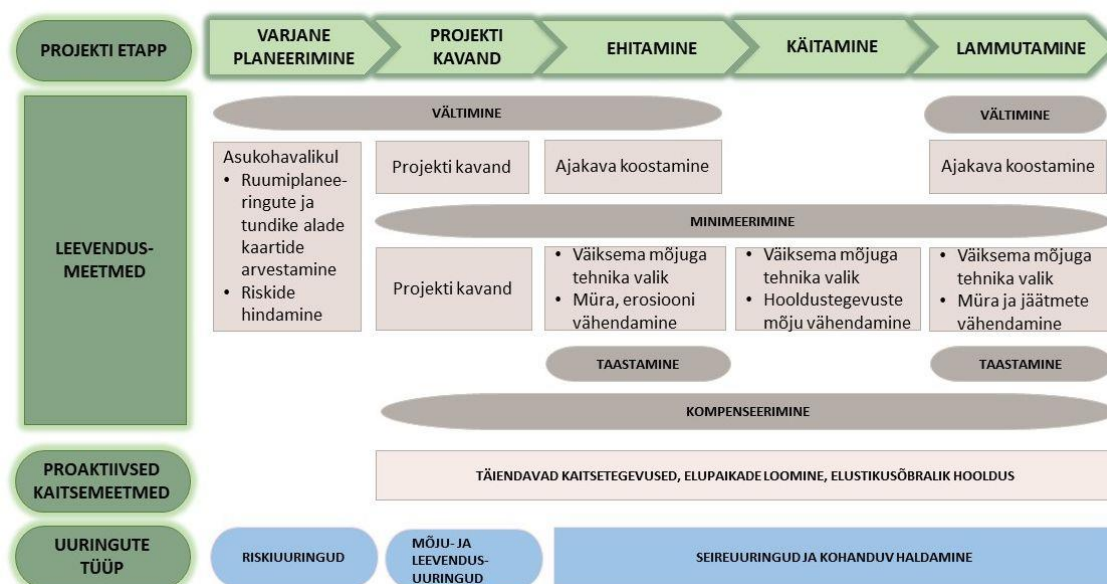
määratakse kindlad eesmärgid elurikkusega seoses ning kirjeldatakse vajalikke tegevusi nende saavutamiseks (Parker ja McQueen 2013, Peschel et al. 2019, Solar Energy UK 2022, SolarPower Europe 2021b).

Väga oluline PEJ-de mõju tuvastamiseks elustikule on ka ehitusejärgne seire, mis peaks olema kohustuslik kõigi suuremate PEJ projektide puhul (Fthenakis et al. 2011). Näiteks Peschel et al. (2019) toodud näidetes oli selleks hetkeks tehtud aladel järelseiret 9-10 aastat. Ehituseelse olukorra võrdlemine järelseire tulemustega võimaldab vastavalt kohandada majandamisvõtteid jt elustikusõbralikke lahendusi ning sisukate kaitsemeetmete rakendamist, sest nii tuleb paremini välja ka pikaajalised, elupaiga muutumisest põhjustatud mõjud (Montag et al. 2016, Peschel et al. 2010, Smallwood 2022, Visser et al. 2019).

Kogutud andmed oleks hea koondada vastavasse andmebaasi, nii et lõpuks oleks võimalik koondada tulemused erinevatest tingimusest ning anda edaspidi soovitusi nendest lähtuvalt (Peschel et al. 2019). Seejuures oleks ka väga hea, kui vajalike otsuste tarbeks oleks välja töötatud otsustuspuud, standardiseeritud protokollid sisukate uuringute läbiviimiseks nii eelnevate uuringute kui järelseire tarbeks ning muud vajalikud abimaterjalid (Peschel et al. 2019, SolarPower Europe 2021b).

5.2 KESKKONNAMÕJUDE LEEVENDUSMEETMETE HIERARHIA

Päikeseenergiajaamade rajamise kõigis etappides on oluline silmas pidada nõ leevendusmeetmete hierarhiat. See tähendab, et igas etapis on vaja kõigepealt kaaluda võimalusi negatiivsete mõjude vältimiseks, seejärel nende minimeerimiseks, ning kui vajalik, siis ka keskkonna taastamiseks või keskkonnale tekitatud kahju hüvitamiseks. Seejuures vältimine ja mõjude minimeerimine on paremad meetmed, kuna keskenduvad kahju ärahoidmisele, samas kui taastamine või hüvitamine tegelevad tekkinud kahjude heastamisega. Leevendusmeetmete hierarhiat tuleks kasutada nii otseste, kaudsete kui kumuleeruvate mõjude puhul (joonis 9; Bennun et al. 2021b).



Joonis 9. Leevendusmeetmete hierarhia rakendamise erinevates projekti etappides, näidetega võimalikest leevendusmeetmetest (muudetult Bennun et al. 2021b alusel).

Vältimine – kõige olulisem meetod keskkonnakahjude ärahoidmiseks. Seda on eelkõige oluline silmas pidada asukoha valiku juures, aga ka näiteks tööde teostamise ajastamisel (planeerida tööd ajale, mil neist sünnib kõige vähem kahju)

Minimeerimine – kahjude minimeerimiseks on vaja valida meetodid, millega tagatakse väikseim võimalik mõju keskkonnale, sh lühim tööde kestus, madalaim intensiivsus ja väikseim mõjude ulatus. Kahjude minimeerimist on vaja silmas pidada kõigis töö etappides (Bennun et al. 2021b). Näiteks PEJ rajamisel mitte hävitada kogu alal esinevat taimestikku, vaid kaevata ainult kraavid kaablite jaoks ning kasutada võimalikult vähe mullapinda häirivaid lahendusi vundamentide rajamisel.

Taastamine – antud kontekstis peetakse silmas eelkõige töö käigus tekitatud kahjude taastamist, mida ei olnud töö käigus võimalik täielikult vältida, näiteks PEJ rajamise käigus tehtud mullakahjustuste taastamine või koosluse taastamine peale PEJ töö lõppu. Seejuures ei pruugi see tähendada täielikult algse olukorra taastamist (Bennun et al. 2021b).

Hüvitamine – oluliste tekitatud keskkonnamõjude kompenseerimine, mida ei olnud võimalik vältida, vähendada ega taastada. Seejuures on vaja luua mõõdetav kasu elurikkusele taastamise või mõne muu meetodiga, tavaliselt mõnel teisel alal. Kahjude hüvitamine peaks olema viimane võimalus, mida kasutada (Bennun et al. 2021b). Näiteks võib luua maaspesitsevatele lindudele sobivalt majandatud pesitsusala kas osana PEJ territooriumist või sellest väljaspool (Solar Energy UK 2022).

PEATÜKI KOKKUVÕTE

- Eelista mitme funktsiooniga päikeseenergiajaamu (multifunktsionaalset maakasutust, koostootmislahendusi) ainult päikeseenergia tootmisele suunatud aladele.
- Paljud uudsed lahendused pakuvad häid võimalusi elektritootmise ja teiste maakasutuslike tegevuste kombineerimiseks, kuid paljud neist on Eesti tingimustes veel katsetamata.
- Agro-PEJ süsteemid ehk energia- ja toidutootmise ühendamine suurendab maastike mitmekesisust, säästab kasutuses olevat pinda ja loob põllumajandustootjale lisatulu. Kombineerides taimekasvatust ja energiatootmist võib tulu pindalaühiku kohta olla 30–73% suurem kui ainult põllupidamise või ainult päikeseenergia tootmise korral.
- Erinevad leevendus- ja hooldusmeetmed aitavad luua soodsamad tingimused elurikkusele ja looduse hüvedele. Loodussõbralikke valikuid saab teha kogu käitamisaaja jooksul, alates nii paneelide kui ka nende paigaldamistehnoloogia valikust, aia rajamise praktikatest kuni ala hoolduse ja paneelide eemaldamiseni.
- Loodusliku mitmekesise taimestiku säilitamine/taastamine ja ala hooldamine niidukooslusena on pargi hoolduseks sobivaim. Elustikusõbralikud niitmisevõtted aitavad vähendada nii hoolduskoormust kui toetada niidutaimi, putukaid sh tolmeldajaid, linde ja mullaelustikku.
- Karjatamine (lambad, kodulinnud) on sobiva koormuse korral hea ja elurikkust toetav hooldusvõte.
- Kasuta ala taimestiku taastamisel/rajamisel kodumaist päritolu looduslike liikide mitmekesiseid (liigirohkeid) seemnesegusid.
- Elurikkust toetavate väikeelementide loomine (kahepaiksete veekogud ja talvitumispaid, pöödsaste istutamine, lamapuidu lisamine) aitab suurendada elurikkust.

6.1 PLANEERIMINE JA EHTAMINE

6.1.1 MAASTIKE JA LIIKIDE HOIDMINE

- Päikeseenergiajaama ehitusel eelistada kombineeritud eesmärkidega PEJ-d.

Monofunktsionaalsete, üksnes energiatootmisele keskendunud PEJ-de asemel on soovitatav rajada jaamu, milles tootmine on integreeritud kas põllumajandusega või teiste energiaallikatega, või mis on oma eesmärkides rohkem loodust ja maastikke arvestav ning katsuvad parandada maastike omadusi ja elupaikade seisundit (Oudes et al. 2022).

- Jäta paneelide ümber ja vahele ruumi loodusele.

Elustiku aspektist on üks **olulisemaid tegureid paneeliridade omavaheline kaugus**, kuna sellest sõltub taimede ja maapinnani jõudva valguse hulk (Peschel et al. 2019). Vajalik vahede laius sõltub ka paneelide kõrgusest ja kaldenurgast. Vähemalt 3 m laiused päikesepaistelised ribad paneelide vahel suurendasid nii putukate kui kivisisalike, samuti ka maaspesitsevate lindude arvukust PEJ-des Saksamaal võrreldes aladega, kus paneelid olid tihedamalt. Laiemate paneelivahede korral oli ka PEJ alal rohkem ohustatud liike (Peschel et al. 2019). Eestis tingib laiemad paneelirea vahed ka madalal asuv päike ning pikad varjud, mis võiks looduslikele kooslustele ja liikidele soodne olla. Eestis on paneelirea laius 4-10 m, kuid erineva suurusega paneelide kasutamise tõttu on raske öelda, kui suur osa vahest varjutamata on (*intervjuud tootjatega*). Elurikkuse seisukohast on Eestis

otstarbekas paigutada paneeliread hõredamalt (ca 10 meetrit, eelistatult rohkemgi), tagades, et paneeliridade vahele jääb päikeselist ala.

- Tööde planeerimisel vältida tundlikke perioode.

Kõigis PEJ rajamise etappides, k.a uuringute ja eeltööde tegemine, rajamine, hoolduskäigud ja lammutamine on vaja vältida tundlikke perioode looduses, nagu pesitsusaeg (Bennun et al. 2021a).

- Kasuta PEJ ära mitmekesiste maastike loomisel ning samas kasuta maastikes esinevaid nähtuseid PEJ planeerimisel.

Päikeseenergiajaamu saab kasutada ära mosaiiksete maastike loomisel, mis on eriti kasulik ühetaolistes põllumajandusmaastikes (Montag et al. 2016, Peschel et al. 2019). See on hea võimalus ka põllumeestele ühekorraga panustada looduskaitsele ja teenida tulu. Rajades PEJ kehvematele maadele, kus saagid on niikuinii madalad, võib tänu tolmeldamisteenusele ja teiste looduse hüvede soodustamisele kasu saada ning toota ühtlasi ka energiat (Biesmeijer et al. 2020, Blaydes et al. 2022, Montag et al. 2016).

Mitmekesisemates maastikes on ka võimalik ära kasutada maastikes juba esinevaid mustreid ning neid PEJ rajamisel taasluua, muutes need esteetiliselt meeldivamaks ning tekitades ka looduslähedasemaid keskkonnatingimusi ja vaateid (vt Scognamiglio 2016 ja seal toodud näited). Näiteks ajalooliselt lagedatel aladel (rannaniidud, luhaniidud, suured poldrialad) peab vältima põõsaste-puude kasutamist PEJ-de ümber (Oudes et al. 2022). Samas on põllumajandusmaastikes ja asulate läheduses kohane rajada PEJ ümber hekk või lisada mõned puudesalud (Peschel et al. 2019, Pettersson et al. 2022).

- Jäta puhvertsoonid ümber tundlike maastikuelementide ja ökosüsteemide.

Piisava laiusega puhveralad, kuhu PEJ mõjud ei ulatu, peaksid asetsema veekogude ümber, vanade metsade servas, ümber kaitstavate objektide ja ka ümber üksikute kõrge väärtusega puude. Need aitavad vältida tundlike ökosüsteemide või maastikuelementide kahjustamist PEJ rajamise käigus (näiteks mullaosakeste kannet veekogudesse või puujuurte kahjustamist) või ka käitamise ajal (Grippio et al. 2020, Solar Energy UK 2022).

- Paiguta võimalusel elektrikaablid maa alla.

Elektrikaablite paigutamine maa alla vähendab võimalust lindude kokkupõrgeteks õhuliinidega. Juhul, kui siiski vaja ehitada õhuline, siis on oluline paigutada need eemale märgaladest, olulistest linnualadest ja migratsioonikoridoridest või tähistada lindude kokkupõrgete vältimiseks. Samuti on soovituslik elektripostide lähistel liinid paremini isoleerida (Bennun et al. 2021a).

- Tekita ligipääsuteede rajamisel võimalikult vähe häiringuid.

Kui PEJ-le on vaja rajada uus ligipääsutee, siis on hea paigutada see nii, et see võtaks võimalikult vähe pinda ning tekitaks minimaalselt häiringuid (Solar Energy UK 2022). Mida väiksem pind jääb infrastruktuuri alla, seda suurem ala jääb elustikule kasutamiseks.

- Hoidu liikide otsesest kahjustamisest ning loo vajadusel enam mõjutatud liikidele kompensatsioonialasid.

Kui alal leidub ohustatud liike, siis tuleks need enne PEJ rajamist sobilikesse elupaikadesse ümber asustada. Eelkõige käib see taimede kohta (Peschel et al. 2010), sest näiteks lindude puhul on ümberasustamise edukus väike (Hamed ja Alshare 2022). Kui võimalik, võiks erinevatele liikidele hävitatud elupaikade asemel luua kompensatsioonialasid kas PEJ territooriumi sees või sellest väljaspool (Bennun et al. 2021b, Peschel et al. 2019).

Selleks võib luua näiteks väikesi veekogusid, puude-põõsaste rühmi või pesitsusalasid maaspesitsevatele lindudele (Peschel et al. 2019, Solar Energy UK 2022).

- Ehitamise (ja ka käitamise) ajal väldi liigse valgusreostuse teket ning prügistamist.

Erinevaid liike häiriva valgusreostuse vähendamiseks on vaja vältida ebavajalikku lisavalgustust nii käitamise kui ehitamise ja lammutamise ajal (Lovich ja Ennen 2011, Perry et al. 2008, Solar Energy UK 2022). Samuti tuleb igas etapis vältida prügi teket ning loodusesse jätmist (Bennun et al. 2021a).

6.1.2 MAAPINNATÖÖD JA VUNDAMENTIDE RAJAMINE

- Tekita võimalikult vähe taimestiku ja mullapinna häiringuid.

Kõige suuremat maapinna häiringut tekitab see, kui PEJ vundamendi rajamiseks on vaja maapinda tasandada (Bennun et al. 2021a), puid välja juurida (Turney ja Fthenakis 2011) või kui taimestiku eemaldamiseks kasutatakse herbitsiide (Bennun et al. 2021a). Sellised tegevused tõstavad oluliselt ka mulla erosiooniohtu (Dhar et al. 2020). Eestis õnneks ei ole maapinna tasandamist sageli vaja teostada ning mullapinda häiritakse ainult kaablikraavide kaevamiseks, mis võimaldab taimestikul kiiresti taastuda. Kodumurule paneelide paigaldamisel on isegi kasutatud murumätaste kõrvale tõstmist ning hiljem tagasi asetamist, mis põhjustab taimestikule kõige väiksemat häiringut (*intervjuud tootjatega*). Taimestiku kasvu takistab ka see, kui paneele vahetult ümbritsev pind kaetakse kruusa või geotekstiiliga (*intervjuud tootjatega*) - võte, mida tuleks PEJ-de rajamisel kindlasti vältida. Mulla liigse tihendamise ja pinnasekahjustuste vältimiseks on ka vajalik hoiduda tööde tegemisest liiga raskete masinatega ning ebasobival aastaajal (liiga märjas), seda eriti savikamatel muldadel (Peschel et al. 2010).

- Kui võimalik, kasuta vähem taimestiku- ja mullahäiringuid tekitavaid kinnituslahendusi.

Päikeseenergiajaama rajamisel kasutatava vundamendi valik sõltub eelkõige ala maapinna omadustest. Võimalikest valikutest tasuks eelistada väikseimat mullahäiringut, –tihendamist, müra ning vibratsiooni tekitavat lahendust. Tõenäoliselt kõige väiksema mõjuga on puujuurtest inspireeritud TreeSystemi (TreeSystem, 2022) või Spinnankeri (Spinnanker 2022, Trommsdorff et al. 2021) tüüpi kinnituslahendused, mille korral kruvitakse metallvardad käsitsi mulda. Selle süsteemi puhul on müra ja mullahäiring minimaalne, ei toimu mulla tihendamist ega tekitata vaiade rammimisega kaasnevat vibratsiooni. Eriti kasulik on see lahendus põllumajandusmaadel, kui päikeseenergia tootmine kombineeritakse toidutootmisega. Päikeseenergiajaama eluea lõpus saab vardad lihtsasti käsitsi välja kruvida ning uuesti kasutada ning olulisi jälgi neist ei jää (Trommsdorff et al. 2021). Ka Eestis on sellised lahendused kasutusel, kui geotehnilised tingimused lubavad, ühes teiste lahendustega (*intervjuud tootjatega*).

Betoonplokkide kasutamist päikesepaneelide vundamendina looduslikes kooslustes tasub vältida, kuna nende pinnakasutus ei ole elustikku soosiv (Peschel et al. 2010). Vundamendina kasutatavad betoonplokid on tavaliselt ka üsna madalad ning vajavad paneelide varjutamise vältimiseks väga sagedast niitmist (*intervjuud tootjatega*).

6.1.3 PÄIKESEPANEELIDE VALIK EESTIS JA ALTERNATIIVSEID VÕIMALUSI

- Paneelide valik ja hooldus hetkel Eestis (*intervjueeritud tootjate näitel*).

Hetkel on Eestis kasutusel peamiselt lõuna poole suunatud fikseeritud fotogalvaanilised paneelid, mis paigutatakse maapinna suhtes 35–40° nurga all. Kasutusel on nii ühe- kui kahepoolsete paneelid ning nende elueaks arvestatakse üldiselt 25–35 aastat. Paneelide alumine serv paigutatakse maapinnast 30–80 cm kõrgusele. Paneelide pinda enamasti kuidagi ei hooldata, sest vihmajärged ning lumi hoiavad paneelid piisavalt puhtad. Kõige enam võib puhastamist vaja olla katustel paiknevatel paneelidel, kus linnud võivad põhjustada paneelide määrdumist. Sellisel juhul sobib neid puhastada vee või detergendidlahusega. Lumetõrjet paneelidel samuti ei tehta, sest enamasti libiseb lumi ise maha. Eriti hästi toimib see kahepoolsete paneelide puhul, mille alumine külg hakkab ka lumega kaetuna tänu lumelt peegelduvale hajuskiirgusele elektrit tootma, soojeneb ning võimaldab lumel kergemini paneelidelt maha libiseda (*intervjuud tootjatega*).

- Kahepoolsete vertikaalsed, ida-lääne suunalised paneelid.

Kahepoolsete ida-lääne-suunalised fotogalvaanilised paneelid ei pruugi olla lõuna suunas fikseeritud paneelidest suurema tootlikkusega, kuid neil on siiski mõned eelised teiste ees – nad võtavad vähem ruumi (efektiivsem pinnakasutus), nad jäävad vähem põllutööriistadele ette, neil on tolmu kattumine väiksem (tolmused keskkonnas paremad kasutada) ning nad ei pea olema nii kõrgele tõstetud (väiksemad paigalduskulud) (Riaz et al. 2021a). Samuti aitavad ida-lääne suunalised paneelid reguleerida energia tootmise piike ja ühtlustada hinnatippe (*intervjuud tootjatega*).

Energiatootlikkus ja taimedeni jõudev fotosünteesiliselt aktiivne kiirgus on vertikaalsetel ida-lääne suunalistel paneelidel sarnased tavaliste lõuna poole kaldus paneelidega siis, kui paneelide asetus on kaks korda hõredam. Kui paneelid asetsevad sellest tihedamalt, siis oli paneelide vahel kasvavate taimede produktiivsus küll kõrgem, kuid energiatootlikkus madalam. Lõuna poole kallutatud paneelide korral saab tootlikkust reguleerida kaldenurgaga, kahepoolsetel vertikaalsetel paneelidel seda võimalust ei ole (Riaz et al. 2021a).

- Muud kahepoolsete paneelid.

Kahepoolsete paneelide võib olla hea kasutada mitte ainult vertikaalse paigutusega ida-lääne suunaliste paneelide süsteemina, vaid ka maapinnast kõrgemale asetatud paneelide puhul, nii et paneelid saavad püüda ka maapinnalt lähtuvat hajusat kiirgust. Sellised süsteemid on küll veidi kallimad kui ühepoolsete paneelid, kuid toodavad ka rohkem energiat ning on lõppkokkuvõttes kasumlikumad (Trommsdorff et al. 2021). Eestis kasutatakse kahepoolsete paneelide ka maapinna lähedale paigutatuna, kus need tänu hajuskiirguse püüdmisele samuti ära tasuvad, eriti talvel. Kuna kahepoolsete paneelid lasevad ka osa valguskiirgust endast läbi, on need ka kasulikud ka paneelide all kasvavatele taimedele (*intervjuud tootjatega*).

- Päikese liikumist jälgivad süsteemid.

Paneelisüsteemid, mis muudavad oma positsiooni vastavalt päikese liikumisele, lasevad rohkem valgust jõuda taimedeni. Kuigi nende tootlikkus on kõrgem kui fikseeritud paneelide oma, on ka kõrgem ka nende hind, pindala- ning hooldusvajadus (Solar Energy UK). See tehnoloogia ei kipu ka olema alati 100% töökindel, kuid paraneb ajas. Eestis neid veel kuigi sageli ei kohta (*intervjuud tootjatega*).

- Ühe jalaga raamid hõlbustavad paneeli aluse pinna niitmist.

Niitmise hõlbustamiseks paneelide alt soovitatakse kasutada ühe jalaga raame (*single leg frames*) kahe jalaga raamide asemel, mis oluliselt raskendab paneelide all niitmist (Solar Energy UK 2022) ning tingib vajaduse kasutada käsitrimmerit või otsida muid lahendusi.

6.1.4 PÄIKESEENERGIAJAAMU ÜMBRITSEVAD AIAD JA LÄBIKÄIGUD

- Väldi võimalusel aedade rajamist ümber PEJ.

Aedu ehitatakse PEJ-de ümber eelkõige inimese eemal hoidmiseks ning mõnikord ka kindlustusfirmade tingimuste täitmiseks (*intervjuud tootjatega*). Enamikele loomadele on kasulik, kui PEJ-de ümber aedu ei rajata, kuna need halvendavad nende võimalusi maastikus liikuda (Peschel et al. 2019, Pettersson et al. 2022). Aedade asemel võib alternatiivina kasutada ka hekke või valvekaameraid, mis võivad inimeste tekitatud kahjude vältimise mõttes isegi efektiivsemad olla (*intervjuud tootjatega*).

- Kui ehitad aia, tee see elustikusõbralik.

Kõige lihtsamad elustikusõbralikud aiad on sellised, mille puhul on aed maapinnast (10)15-20(30) cm kõrgemale tõstetud, nii et väiksemad ja keskmise suurusega loomad sealt läbi pääsevad (Peschel et al. 2019, Pettersson et al. 2022, Taylor et al. 2019). Seejuures on vaja tagada, et tarade all ja üleval servas ei oleks teravaid orasid, mille vastu loomad end vigastada võivad (Pettersson et al. 2022, *intervjuud tootjatega*). Kui väiksemate PEJ-de (alla 1500 m²) puhul võib aia ka nii ehitada, et ainult väiksemad loomad läbi mahuvad, siis suuremate PEJ-de puhul peaks ka keskmise suurusega loomade läbimisvõimalus üldjuhul tagatud olema.

Mõnikord võib olla ka kasulik osasid loomi alalt aedadega eemal hoida. Väikekiskjate suur arvukus Eestis on maaspesitsevate lindude ning kahepaiksete halveneva seisundi üheks teguriks. (*Keskkonnaamet, Riinu Rannap, suulised andmed*). Väikekiskjate eemal hoidmine aedade abil suurendab lindude sigimisedukust või võimalusi ellu jääda. Seega võiks teatud piirkondades, näiteks suurte avatud rannaalade lähedal või põllumajandusmaastikes, kus esineb haruldasi või kahaneva arvukusega maaspesitsevaid linde, rajada ka suurematele PEJ-dele väikekiskjaid eemal hoidvad aiad. Kahepaiksete ekspert Riinu Rannap soovib **PEJ-de ümber rajada selliseid aedasid, kust väikekiskja läbi ei pääse, aga konnad pääsevad**, seda eriti kahepaiksetele oluliste märgalade läheduses.

Suuremate PEJ-de puhul või kui ei suudetud vältida PEJ rajamist loomade liikumiskoridoridele ja rohekoridoridesse tuleks tagada läbipääs suurematele loomadele. Üheks võimaluseks seda teha on jagada PEJ kaheks osaks ning võimaldada loomadele läbipääs kahe osa vahelt (Peschel et al. 2019). Selliseid läbikäike saab muuta loomadele atraktiivsemaks, lastes seal rohul kõrgemaks kasvada, istutades selle ümbrusse puid ja põõsaid ning samuti võib seda kombineerida veesilmadega (Pettersson et al. 2022).

Oluline on valida aiad, mis on loomadele paremini nähtavad, et vältida vigastusi (Pettersson et al. 2022). Visuaalselt meeldivamaks saab aiad muuta näiteks kohalikke ronitaimede aia äärde istutamisega (Pettersson et al. 2022, Taylor et al. 2019). Hea on ka ehitada suurematele loomadele aia sisekülje äärde nõ väljahüppekohad, mis võimaldavad juhuslikult PEJ territooriumile sattunud suurimetajatel aiast välja pääseda (*intervjuud tootjatega*). Vältida tuleb olukorda, kus aed rajatakse nii, et ta suunab mööda avamaastikku liikuvad loomad PEJ ja tee vahele või PEJ ja asula vahele. Rajatav aed ei tohi ulatuda tervenisti näiteks metsast teeni või katkestada rohekoridori.

6.1.5 PÄIKESEENERGIAJAAMAD PUHKEALANA

- Päikeseenergiajaamad võivad pakkuda ka puhke- ja hariduslikke võimalusi.

Päikeseenergiajaamu on võimalik rajada ka puhkealadena inimestele, olla sihtkohaks nii kohalikele kui külastajatele. Näiteks võivad sobida selleks hästi linnades või nende ümbruses olevad jäätmaad, mahajäetud tööstusladad vms (Lambert 2022, Pettersson et al. 2022). Hea on selliste PEJ-de rajamisel kasutada ära maastikku

sobivaid mustreid ning esteetiliselt atraktiivsemaid lahendusi (Scognamiglio 2016). Inimestele suunatud PEJ-d võivad pakkuda meeldivat keskkonda – sinna saab külvata lilleribasid, istutada viljapuid ja marjapõõsaid, aiad saab katta ronitaimedega ning on võimalik püstitada vaatetorne. Samuti saab seal pakkuda erinevaid tegevusi – lisaks lillede ja viljade noppimisele ning jalutamisele saab seal pinkide ja laudade paigaldamisega anda võimaluse pikniku pidamiseks, pakkuda ühiskasutatavaid jalgrattaid (kui PEJ on suurem), kui PEJ-s on vett, siis luua võimalusi kasvõi puukoorepaatide võidusõitudeks lastele ning samuti anda hariduslikke võimalusi infotahvlite näol ja luues võimalusi õppeväljasõitudeks või üritusteks (Lambert 2022, Pettersson et al. 2022). Päikeseenergiajaamad võivad olla suurepäraseks kohaks, kus õppida taastuvenergia ning loodushoidlike praktikate kohta (Pettersson et al. 2022).

- Paneelid murukatusel – moodsa linna lahendus.

Hea lahendus on ka murukatuste kasutamine koos päikesepaneelidega – paneelid aitavad jahutada keskkonda taimedele ja taimestik katusel aitab omakorda paneele jahutada (Catalbas et al. 2021, Hui ja Chan 2011). See on hea viis kombineerida energiatootmisega murukatuste kasulikke mõjusid linnaruumis – hoonete temperatuuri regulatsioon, kuumasaare efekti vähendamine, sademetest tingitud üleujutuste vähendamine linnas, elurikkuse (sh tolmeldajate) soodustamine, puhkevõimalused jne, luues samas ka esteetiliselt meeldivaid lahendusi linnaruumis. Eriti kasumlikud on selliselt kombineeritud katused avalikel- ja tööstushoonetel (Catalbas et al. 2021, Hui ja Chan 2011, van der Meulen 2019).

6.1.6 UJUVAID PÄIKESEENERGIAJAAMAD

- Ujuvad PEJ-d - uued lahendused ja väljakutsed.

Ujuvaid PEJ-d meile teadaolevalt Eestis veel ehitatud ei ole (*intervjuud tootjatega*), kuid mujal maailmas leiavad need järjest rohkem kasutust (Almeida et al. 2022, Bennun et al. 2021a). On nii erinevatele parvedele paigaldatud süsteeme (erineva nurga all veepinna suhtes), poide külge nelja suunda kinnitatud paneelid, kui ka õhukese liikuva kihina (hüdroelastsel membraanil) veepinnal lebavaid lahendusi (mis on küll vähem efektiivsed kui tavapäraseks variandid; Solar Impulse Foundation 2022). Ujuvate PEJ-de efektiivsus on küll suurem, kuna vesi ühtlasi jahutab paneele, kuid nende ehitus on ka oluliselt kallim ja keerukam (Bennun et al. 2021a, Vo et al. 2021). Kõrgematel laiuskraadidel võib ka jäätumine põhjustada lisaprobleeme (Almeida et al. 2022).

- Kuhu rajada ujuvaid päikeseenergiajaamu?

Kõige parem on ka ujuvaid PEJ rajada sinna, kus nende keskkonnamõju on väikseim ning kus on juba olemas vajalik infrastruktuur. Sellisteks kohtadeks on näiteks inimeste rajatud veekogud, isegi reoveepuhastid (Rosa-Clot et al. 2017) ning kombineerimine hüdroelektrijaamadega (Almeida et al. 2022) või avaveetuuleenergiajaamadega (Vo et al. 2021). On arvatud, et kui 10% kogu maailma hüdroelektrijaamade paisjärvedest katta päikesepaneelidega, siis oleks võimalik toota sama palju energiat, kui praegu fossiilsetest kütustest saadakse (Almeida et al. 2022). Kuna Eestis on hüdroelektrijaamu vähem, siis siin on see potentsiaal väiksem, samuti on siinsete hüdroelektrijaamade paisjärved enamasti üsna looduslähedaste ökosüsteemidega. Hea võimalus elektritootmise kombineerimiseks on ka tuuleenergiajaamadega. Katsetes on õnnestunud toota samal pindalal isegi 5-10 korda rohkem energiat ning paranes oluliselt ka elektrisüsteemi varustuskindlus (López et al. 2020, Vo et al. 2021).

- Koostootmisvõimalused ujuvates päikeseenergiajaamades.

Ujuvate PEJ-dega on võimalik koostootmine mitte ainult energia valdkonnas (tuuleenergiajaamade või hüdroelektrijaamadega), vaid on võimalik ka kasvatada samades süsteemides söödavaid rannakarpe, austreid,

vetikaid jt söödavaid veeorganisme. Kinnitumist võimaldavad struktuurid võivad olla kasulikud ka teistele, looduslikele liikidele, kuid sihtkultuuri saagi koristamine võib need ökosüsteemid ka hävitada, kui ei kasutata meetodeid, mis neid säästavad (need meetodid alles vajavad katsetamist). Vetikate ja karpide kasvatamine aitab ka teataval määral puhastada vett, toota hapnikku ning siduda süsinikku (Dalderup et al. 2020).

6.2 TAIMESTIKU TAASTAMINE, ELURIKKUST TOETAVATE ELEMENTIDE RAJAMINE JA HOOLDUS

Päikeseenergiajaamade taimestiku hooldamiseks valitud meetodil on üsna suur mõju, kuna taimestiku liigirikkus ja struktuur mõjutavad omakorda teiste organismide esinemist (Pettersson et al. 2022). Inimtegevus PEJ-des selle käitamise ajal on vaid vähene ning kuna PEJ-d asuvad vähemalt 25-40 aastat samas kohas, annab see ka võimaluse hooldusvõtete mõjul ilmnedu (Parker ja McQueen 2013) ning elurikkusele, sh ka haruldasematele liikidele, aega aladele koguneda (Raab 2015). Parima tulemuse saavutamiseks on hea, kui kasutada korraga mitmeid elurikkust soodustavaid hooldusvõtteid ning lahendusi, et tekitada võimalusi erinevatele organismidele (Montag et al. 2016). Samuti on hea erinevate **võtete kombineerimine** kas ühe PEJ või maastiku lõikes, sest nii tekitatakse elupaiku erinevate elupaigavajadustega liikidele. **Erinevate keskkonnatingimuste ja liikide mitmekesiste nõudluste tõttu ei ole ka võimalik esitada ainult ühte standardlahendust PEJ-de hoolduseks** (Pettersson et al. 2022). Järgnevas nimekirjas kirjeldame erinevaid elurikkust toetavaid hooldus- ja käitamisvõtteid.

6.2.1 PUUD JA PÕÕSAD PÄIKESEENERGIAJAAMA ALAL

- Säilita alal esinevaid puid ja põõsaid.

Kui alal, kuhu on planeeritud ehitada PEJ, esineb vanu või täiskasvanud puid, liigirikkaid põõsastikke või on ala ümber varasemast olemas põõsaste või puude ribad, siis tuleks PEJ planeerida nii, et need saaks võimalikult suurel määral säilitada. Kindlasti tuleks alles jätta põlispuud ning nende ümber säilitada puhvertsoon kahekordse võra laiuse ulatuses, et vältida puu juurte kahjustamist (Pettersson et al. 2022, Solar Energy UK 2022). Puud ja põõsad pakuvad elu- ja varjupaika ning toitu paljudele putukatele, lindudele, seentele, samblikele ja sammaldele ja teistele organismidele (Pettersson et al. 2020).

- Istuta PEJ alale puid ja põõsaid.

Kui alal eelnevalt puid ja põõsaid ei esinenud, kuid ümbritsevas maastikus ajalooliselt olnud tavapärane maastikuelement, siis tasub neid istutada ka PEJ alale (Solar Energy UK 2022, SolarPower Europe 2021b). Näiteks hekid või põõsasribad mõningate puudega ümber PEJ on hea nii elurikkusele (Moor et al. 2001) kui ka aitavad rajatist varjata inimeste pilkude eest (**joonis 10**). Teinekord võib põõsasribad rajada ka aia asemel (*intervjuud tootjatega*).



Joonis 10. Puud ja põõsad päikeseenergiajaamade ümber pakuvad elupaika ja varjavad jaama pilkude eest (foto: Hydro, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0).

- Istutades kasuta erinevaid looduslikke liike.

Eesti tingimustesse sobivad hästi mitmeliigilised põõsaribad (Moor et al. 2001) ning elurikkusele on kasulikud ka puude ja põõsaste rühmad PEJ alal ja selle ümber (Peschel et al. 2019, Pettersson et al. 2022). Liikide valimisel vaata ringi ümbritsevas maastikus, nt lähedastele metsaaladele, ja vaata, milliseid liike seal looduslikult leidub. Alati on hea, kui valikusse jääb ka putukatele toitu pakkuvate õitega ning söödavate viljadega puid ja põõsad, nt looduslikud kibuvitsad, paju, pärn, vaher ja tamm jt. Hea on kombineerida erineval ajal õitsevaid ja viljuvaid liike, et tagada loomadele toidu kättesaadavus erinevatel aastaaegadel (Moor et al. 2001, Pettersson et al. 2022). Kui lähedal on tootmistalud, siis pane liikide valikul tähele, et ei istutaks lähedal kasvatatavatele kultuuridele ohtlikke kahjureid soodustavaid liike (nt viljapuu-bakterpõletiku peremeestaimeks võivad olla tuhkpuud, viirpuud ja pihlakad). Loe lähemalt liigirikaste hekkide ja põõsaribade rajamise praktiliste detailide kohta Tartu Ülikooli Maastike elurikkuse töörühma veebilehelt www.heapold.ee ning raportist “Riigiteede niidetavate pindade ja hekkide korrashoid.” (Helm et al. 2021).

- Tekitada surnud puitu, nii tüügaspuid kui lamapuitu.

Surnud puud ja erinevas kõdunemisastmes puit on paljudele organismidele oluline toidu, elu- kui pesapaigana, nt ämblikele, putukatele, lindudele, pisiimetajatele jne. Surnud puidu tekitamiseks võib kaaluda ka puude veteraniseerimist ehk nende tahtlikku vigastamist, mis võimaldab mitmekesistada võimalusi puudega seotud elurikkusele (Pettersson et al. 2022).

6.2.2 TAIMESTIKU TAASTAMINE

- Taimestiku taastamiseks saab rakendada iseeneslikku taastumist, looduslike liikide kohalikku päritolu seemneid või heina.

Kiire rohttaimestiku taastamine aladel, kus see rajamise käigus on hävinud, on oluline erosiooni vältimiseks ja umbrohtude leviku piiramiseks (Montag et al. 2016). Päikeseenergiajaama rajamisel tekitatud taimestikuta

aladel on taimestiku taastamiseks võimalik jätta kas ala mulla seemnepanga toel ise uuenema või kasutada seemnete külvamist. Kui varasemalt on alal olnud liigirikas kooslus, mullas on sobiv seemnepank või ala vahetus läheduses (kuni ca 300 meetri raadiuses) asub liigirikkaid niidukooslusi (Raab 2015), siis on sobivaks lahenduseks ala iseeneslik uuenemine (Peschel et al. 2010, Pettersson et al. 2022). Muul juhtudel võib olla vajalik liigirikka taimestiku tekke soodustamine läbi seemnete külvamise (Dhar et al. 2020, Peschel et al. 2010). Seemnete toomiseks alale on võimalik koguda enne häiringu tekitamist seemneid samalt alalt või koguda neid mõnelt lähedalasuvalt heas seisus niidult, tuua seemneid heas seisus niidult alale koos heinaga või osta sobivaid kodumaiseid ning vastavatesse mullatingimustesse sobivaid liigirikkaid seemnesegusid (Dhar et al. 2020, Pettersson et al. 2022). Eestis pakub nii niitudelt seemnete kogumise teenust kui ka kohalikku päritolu kodumaiste liikide seemnetest koostatud liigirikkaid seemnesegusid [OÜ Nordic Botanical](#).

Liigirikas seemnesegu koosneb 25-30 liigist. Seemnesegudes on parem kasutada erinevaid kaheidulehelisi (ehk mitte kõrrelisi ja tarnasid) õitsevaid rohttaimi ning väiksemakasvulisi ja vähem domineerivaid kõrrelisi, mis tagavad madalama taimestiku ja hilisema väiksema hoolduskoormuse (Montag et al. 2016, Parker ja McQueen 2013, Pettersson et al. 2022). Kasutatavate taimede kasv võiks jääda alla 70 cm, et vältida paneelide varjutamist (Solar Energy UK 2022). Soovitava liigilise koosseisu tagamiseks võib olla vajalik iga mõne aasta tagant seemnete lisamine (Blaydes et al. 2021), seda peamiselt viljakama mullaga aladel. Seemnete lisamine võib olla kasulik ka muidu iseuueneval aladel lisa liigirikkuse toomiseks aladele. Aja jooksul lisandub liike ka ümbritsevatelt aladelt (Pettersson et al. 2022). Loe lähemalt madala taimestiku rajamise ja hoolduse kohta ülevaatest "Kuidas koduõue muru abil elurikkust toetada?" (Helm 2021).

- Taimestiku taastamine endisele põllumaale rajatud PEJ-s.

Endisel põllumaal oleks kindlasti vaja kasutada taimestiku taastamiseks seemnete külvamist, kuna seal oleks seemnepangas peamiselt umbrohud (Parker ja McQueen 2013, Peschel et al. 2010). Sellistel aladel on parim rajada heinamaa-laadne niidetav rohumaa, kuhu külvata erinevat liiki mitte-körrelistest rohttaimi (liigirikas segu kodumaistest liikidest) ning sellega tõsta rohumaa väärtuslikkust. Oluline on valida kohalikku päritolu looduslike liikide seemned. Kultuurrohumaa segud koosnevad valdavalt lopsakatest ja kõrgemakasvulistest taimeliikidest (vajab rohkem hooldust) ning on liigivaesed.

Endistele põllumaadele sobib külvata ka Eestis kasvatatavatest kultuurliikidest väikesekasvulisemaid liike, eriti neid, mis pakuvad tolmeldajatele toidulauda. Sobivate külvatavate kultuurliikide segusse võiksid kuuluda punane aruhein, harilik aruhein, põldtimut, aasnurmikas, valge ristik, roosa ristik, aasristik, sigur, nõiahammas. Ka ristiku monokultuuri külvamist on Eesti PEJ-des ka kasutatud (*intervjuud tootjatega*). Eelistatav on siiski ka endistel põllumaadel kasutada looduslike liikide seemnesegusid (Eestis tootja Nordic Botanical OÜ).

- Taimestiku taastamine minimaalse häiringu korral.

Kui PEJ rajamise käigus tekitatud häiring on väga väike, näiteks on ainus häiring kaablikraavide kaevamine, siis on võimalik jätta need alad kas ise uuenema või kasutada tekitatud häiringut ära õierohkete ribade loomiseks ning alale lisa liigirikkuse toomiseks. Praegu Eestis selliste häiringute puhul on pigem kasutatud iseuenemist (*intervjuud tootjatega*).

6.2.3 NIITMINE

- Niiduna majandamine on elurikkusele üks parimaid lahendusi.

Pärandniidud, kus on aastatuhandete vältel tehtud heina ja niidetud selleks korra aastas, on väga pikka aega olnud traditsiooniliste põllumajandusmaastike osa. Nad on ka väga liigirikkad kooslused, mis toetavad sobiva hoolduse korral suurt hulka liike ning looduse hüvesid, eriti homogeensetes põllumajandusmaastikes (Parker ja McQueen 2013, Peschel et al. 2019, Pettersson et al. 2022, Uldrijan et al. 2021). Täpsemad PEJ niiduna hooldamiseks kasutatavad võtted on hea valida lähtuvalt antud maastikust, selle struktuurist, ajaloolisest kasutusest, loodusväärtustest ning looduse hüvedest, mida eelkõige soodustada soovitakse. Erinevaid võtteid võib ka ühe PEJ piires kombineerida (Pettersson et al. 2022). Näiteks võib olla soovitatav osa ala majandada nõ lilleniiduna tolmeldajatele ja teine osa mätlikumana teistele putukatele, või kombineerida niitmist ja karjatamist (Pettersson et al. 2022, Taylor et al. 2019). Niiduala ei tohi väetada ja seal ei tohi kasutada taimekaitsevahendeid (Pettersson et al. 2022). Eestis on vastavaid praktilisi näpunäiteid [niitude elurikkust toetavast hooldusest antud pärandniitude hoolduskavades](#) ning maanteeservade elurikkust toetavat hooldust käsitlevas aruandes (Helm et al. 2020).

- Niida pigem vähem, hiljem ja mitmekesiselt. Ära hekselda.

Eesti PEJ-des on mõnel pool näha üsna sagedast niitmist ning paneelide aluse taimestiku pigem muruna hoidmist. Samas rääkisid tootjad, kellega meie vestlesime (need, kes ise tegelevad ka PEJ-de hooldusega), et nemad niidavad eelistatult üks või kaks korda aastas, ainult vastavalt vajadusele, et vältida paneelide varjutamist. Harvem niitmine on kasulik nii elurikkusele kui ka aitab tootjatele kulusid kokku hoida (*intervjuud tootjatega*).

Liiga sage niitmine vähendab taimede ning ka neist sõltuvate erinevate organismide mitmekesisust (Blaydes et al. 2021). Täielikult **niitmata jätmine aga tekitab lisaks paneelide varjutamisele ka paksu kulukihi, mis hakkab kahandama taimestiku liigirikkust** ning soosib üksikute kõrgemakasvuliste liikide vohamist. Kulukiht võib eriti kuivadel aastatel tõsta ka tuleohtu (Solar Energy UK 2022). Soovitatav on sõltuvalt ala viljakusest ja niiskustingimustest niita üks või kaks korda aastas (kui ei kasutata lisaks karjatamist) (Biesmeijer et al. 2020, Pettersson et al. 2022, Raab 2015, SolarPower Europe 2021b). Kuivematel aladel võib mõnikord ühe aasta ka vahele jätta. Kui taimed kipuvad päikesepaneeli liigselt varjutama, siis võib niita paneelide eest 1-2 m laiust riba sagedamini, vastavalt vajadusele (Blaydes et al. 2021). Kuna PEJ alad võivad olla olulised alad maaspesitsevatele lindudele, tuleks võimalusel niita alates juuli keskpaigast (BirdLife... 2015, Pettersson et al. 2022). Kõrgekasvulise taimestikuga aladel võib taimestiku mitmekesisuse taastamiseks, madala taimestiku loomiseks ja edasise hooldusvajaduse vähendamiseks niita esialgu soovitud tulemuse saavutamiseni 2 korda aastas (juuni alguses ja augustis) ning edaspidi, kui taimestik enam nii lopsakas ei ole, taas üks kord aastas. Sellistel aladel on eriti oluline niite eemaldamine.

Niitmisel on alati hea jätta mõned alad niitmata, et tagada putukatele ja teistele loomadele toitumiskohad ning varjevõimalused (Biesmeijer et al. 2020). Näiteks on hea niita ala kahes osas mõnenädalase vahega, nii et varem niidetud alal jõuavad taimed enne teise poole niitmist õitsema hakata (Raab 2015). Mõnda jaama piirkonda võiks niita ka sagedamini (näiteks paneelide esist) ja mõned piirkonnad jätta suve jooksul üldse niitmata (Biesmeijer et al. 2020, SolarPower Europe 2021b). Hea on ka talveks jätta mõnele poole ka niitmata heina, mis sobib hästi mõnede putukatele talvitumiskohaks (Cizek et al. 2012). **Niitmata jäänud lai ke peaks igal aastal tegema uude kohta, et ala ei võsastuks ja ei tekiks paksu kulukihti.** Selliseid praktikaid Eesti PEJ-de hooldamisel praegu tõenäoliselt kasutusel ei ole (*intervjuud tootjatega*), kuid elurikkuse seisukohast on tegu väga olulise võttega.

Niitmiseks oleks kõige parem kasutada kergeid masinaid. Elustiku seisukohast on suuremate alade niitmiseks sobivaimad lattiidukid või ketasidukid ning väiksemate mahtude puhul võsalõikaja või käsitsi lükatav

Hekseldamine on hooldusvõttena sobilik vaid väga väikese produktiivsusega aladel, kus maksimaalne rohukõrgus jääb alla põlve. Hekseldades produktiivset ala (kus rohukasv on tugev, lopsakas), soodustad ala produktiivsuse edasist suurenemist (ja suuremat rohukasvu).

- Peale niitmist lastakse hein alal paar päeva kuivada, et heinas olevad putukad saaksid sealt lahkuda.** Seejärel tuleb niidetud hein kokku koguda ja alalt ära viia (Biesmeijer et al. 2020, Helm et al. 2020, Pettersson et al. 2022, SolarPower Europe 2021b). Niite eemaldamine on elurikkuse hoidmiseks väga vajalik, eriti just produktiivsetel (kõrge rohukasvuga) aladel. Niite eemaldamine vähendab bioproduktiooni ja taimestiku kõrgust, soodustab taimestiku elurikkust ning loob maaspesitsevatele mesilastele sobivaid tingimusi. Niidet alale jättes moodustub ka kulukiht, mis hakkab taimede liigirikkust kahandama ning võib suurendada ka tulehtu (Solar Energy UK, Vaverková et al. 2022). Niidet eemaldades kahandad aasta-aastalt niitmisevajadust – taimestik muutub madalamaks. Tehniliselt muudab see PEJ ala niitmise veidi keerulisemaks ning seetõttu seda praegu tõenäoliselt ka ei praktiseerita (*intervjuud tootjatega*), kuid elurikkuse seisukohast on taaskord tegu olulise soodustava võttega.

- Kariatamine on lihtne ja elurikkust soodustav lahendus PEJ hooldamiseks.

Kõige sobivam on ala karjatada lammastega (**joonis 11**), sellisel juhul võiks paneelide alumine serv olla vähemalt 70 cm kõrgusel ning kaabeldus kinnitatud ja peidetud. Ka muu elektriline infrastruktuur tuleb kaitsta (Solar Energy UK 2022). Päikeseenergiajaamade tootjatele kuulsime lammastega karjatamise kohta vastakaid kogemusi. Kui ühtede kogemuste järgi ei kahjustanud lambad ka kaitsmata elektrijuhtmeid, siis teiste kogemuste järgi võivad lambad paneele kahjustada ka lihtsalt end nende vastu nühkides (*intervjuud tootjatega*). Lammastega karjatamine on siiski üsna laialdaselt levinud ning võib olla ka odavam lahendus kui niitmine (ASGA 2022).



Joonis 11. Lammaste karjatamine päikeseenergiajaamades sobib nii taimestiku madalana hoidmise kui karjakasvatuse eesmärgil. Paneelid ja lambad Suurbritannias Kneppi farmis (foto: Aveliina Helm).

Veiste ja kitsede karjatamise puhul tuleb paneeliread omakorda elektrikarjustega kaitsta (*intervjuud tootjatega*), seega sobivad selleks PEJ-d, kus paneeliridade vahed on tavapärasest laiemad. Alternatiivne lahendus on paneelide tõstmine loomade peade kohale, mis küll muudab ka lahenduse kallimaks.

- Karjatamine soodustab elurikkust, kui seda teha õigesti.

Kui PEJ ala on varasemalt karjatatud, siis tasub sellega jätkata ka peale paneelide paigaldamist (Raab 2015). Karjatamist võib ka kombineerida niitmise, kas ühe aasta lõikes või siis osa PEJ ala niites ja osa karjatades. Teatud juhtudel võivad lambad ja teised loomad ka liigirikkust vähendada, eelistades teatud liike või teatud taimeosi (Pettersson et al. 2022). Selleks, et nii taimede kui putukate liigirikkus ei kahaneks, on vaja silmas pidada, et:

- 1) karjatamissurve ei oleks liiga tugev ning taimedel oleks võimalik õitseda ja viljuda (**joonis 12**; Parker ja McQueen 2013, Pettersson et al. 2022, SolarPower Europe 2021b). Kuival maal peaks karjatamissurve olema väiksem ja niiskel maal suurem. Sobiva koormuse leidmiseks on vaja ala iga mõne aastat tagant inventeerida (Pettersson et al. 2022);
- 2) parim on karjatamisel eelistada portsjonkarjatamist (suurema koormusega, kuid lühemat aega, kuni taimed on söödud), mitte pidevat kogu suve kestvat karjatamist (Montag et al. 2016, Pettersson et al. 2022). Teisaldatavate piirdeaedadega koplisüsteemi rakendades saab karjatamisaegu ja karjatamiskoormust ka suuremate PEJ-de siseselt lihtsasti muuta (Pettersson et al. 2022, Solar Energy UK 2022);
- 3) parim on varieerida eri aastatel karjatamise aega, sellega soositakse erinevaid liike (Pettersson et al. 2022).



Joonis 12. Karjatamisel on hea eelistada portsjonkarjatamist ja vältida ülekarjatamist. Pildil olev ala ei ole ülekarjatatud (foto: Merrill Smith, US Department of Energy, Flickr).

6.2.5 LOOMAKASVATUS KOMBINEERITUNA PÄIKESEENERGIJAAMAGA

- Päikeseenergiajaamad on head loomakasvatuseks, kuid paneelid vajavad ka loomade eest kaitsmist.

Loomakasvatus paneelide vahel on võimalik kas üksi või kombineerituna heinamaade või agro-PEJ süsteemidega (Pettersson et al. 2022). Paneele saab karjamaadel kasutada kariloomadele varjualusena, vähendades loomadel kuumastressi ja tootes samaaegselt energiat (A. Armstrong et al. 2021, Maia et al. 2020, Sharpe et al. 2021).

Parimad on võimalused on PEJ-des **lammaste ja kodulindude kasvatamiseks ja mesilaste pidamiseks**, teised loomad võivad konstruktsioone rikkuda (Pettersson et al. 2022). Olenevalt liigist võivad olla vajalikud mõningad muudatused konstruktsioonides, nt et ei oleks teravaid servi, et loomad ei saaks kaablitesse takerduda (Schotman et al. 2021) ning et elektrisüsteemi osad oleksid loomade eest kaitstud (Pettersson et al. 2022, Solar Energy UK 2022).

Kodulindudest sobivad nt kanad, haned, kalkunid ja vutid, kellele alal olevad päikesepaneelid pakuvad ka mõningat kaitset röövlindude eest. Vajalikud on sobivad õrred, mh selleks, et linnud ei läheks paneelidele istuma. Linnud ei ole nii head biomassi eemaldajad kui lambad, mistõttu võib olla vajalik ka lisaks ala niita (Pettersson et al. 2022).

On hea, kui on PEJ-s on ka mõni veekogu või joogikoht, sest ligipääs veele on oluline nii kariloomadele, lindudele, meemesilastele kui looduslikele mesilastele (Pettersson et al. 2022).

- Päikeseenergiajaamad on head kohad meemesilaste pidamiseks.

Meemesilaste pidamiseks on õiterohked PEJ-d head kohad. Mesilased võivad aidata toetada ümberringi kasvavate kultuuride tolmeldamist nii põldudel kui näiteks puuviljaaedades (A. Armstrong et al. 2021, Pettersson

et al. 2022, Solar Energy UK 2022). Tarud tuleks paigutada koostöös taru ja PEJ omanikega, eelistatult hommikupäikese kätte ning tuulevarjuliselt kohta. Seejuures on vaja võtta arvesse tarude paigutust paneelide suhtes, et hooldustööd ei häiriks mesilasi ning et mesilased ei reostaks paneele (Davis 2019). Sellisel juhul oluline ka paneelide puhastamine vaid loodussõbralike võtetega. Kui PEJ alale on planeeritud mesitarude paigutamine, siis võib ka tugevate aedade rajamine olla omal kohal, et ühtlasi kaitsta mesitarusid karude rüüste eest.

Peab silmas pidama, et mesilaste pidamine on siiski pigem põllumajanduslik tegevus, meemesilased ei ole tolmeldamisteenuse pakkumisel nii efektiivsed kui looduslikud tolmeldajad ning teatud tingimustel (õiterohkete niitude vähesuse korral ümbruskonnas) võivad ka looduslike tolmeldajatega konkureerida (Pettersson et al. 2022, Solar Energy UK 2022).

6.2.6 TOLMELDAJATE JA KAHJURITE LOODUSLIKE VAENLASTE SOODUSTAMINE

- Päikeseenergiajaamad sobivad hästi tolmeldajate ja kasurite elupaigaks.

Põllumajanduse intensiivistumine, putukamürkide kasutamine ning pesitsuseks ja toitumiseks sobivate liigirakaste niidukoosluste kadumine maastikest on toonud kaasa putukate, sh tolmeldajate ja nõ kasulike putukate (põllumajanduskahjurite looduslike vaenlaste) arvukuse olulise kahanemise, eriti põllumajandusmaastikes. **Päikeseenergiajaamad pakuvad suurepäraselt võimalust taastada maastikus tolmeldajatele sobivad elupaigad** (Pettersson et al. 2022). Eriti just intensiivsetes põllumaastikes on maastikuelementidena toimivat PEJ-del tõenäosus suurendada tolmeldamisteenust ümbritsevates maastikes (Blaydes et al. 2021, Montag et al. 2016, Walston et al. 2018). Ümbritsevatele maastikele tolmeldamisteenuse pakkumiseks võiks olla parimad suured, pikliku kujuga ja ressursirohked PEJ-d (Blaydes et al. 2022).

- Kuidas soodustada tolmeldajate esinemist alal?

Käesolevalt on esitatud tõenduspõhised soovitusel tolmeldajate soodustamiseks PEJ-des (Blaydes et al. 2021 põhjal):

- 1) Taga PEJ alal mitmekesine taimestik, mis pakub tolmeldajatele (nii mesilastele, liblikatele, sirelastele) kui ka teistele putukatele toitu kevadest sügiseni. Külvamine on kõige efektiivsem meetod selle saavutamiseks. Kõige parem oleks vastavat seemnesegu külvata kogu PEJ alale, aga kui see ei ole võimalik, siis vähemalt luua vastavate liikidega ribad (Blaydes et al. 2022). Kasutatavad seemnesegud peaksid olema võimalikult liigirikkad. Ekspertidega koostöös saab tagada, et seemnesegus oleks piisavalt sobivaid toidutaimi putukatele, kuid et need samas ei oleks liiga kõrged ega hakkaks paneele varjutama (vt ka peatükki 6.2.2).
- 2) Istuta või säilita PEJ ümber siin-seal hekke, mis lisaks erinevate liikide toetamisele aitab ka ala visuaalselt meeldivamaks muuta. Eriti just õitsevatest põõsastest ning liigiliselt mitmekesised hekid pakuvad toidulauda, pesakohti ning mikrokliimaatilist mitmekesist tingimusi erinevatele liikidele. Vaata ka peatükki 6.2.1 ning loe mitmekesiste põõsasribade rajamise kohta lähemalt veebilehelt Heapõld.ee.
- 3) Taga kogu tolmeldajate aktiivsuseperioodi vältel (varakevadest sügiseni) toiduressursside olemasolu. Paljud tolmeldajaliigid lendavad vaid mõnesaja meetri raadiuses, mis on ka skaala, kus nad peavad leidma nii sobiliku pesitsus- kui toitumisala. Seemnesegude ja hekitaimedega saab tagada õitsevate taimede esinemine alal kevadest sügiseni. Eriti olulised on tolmeldajatele suve lõpul ja sügisel õitsevate taimede olemasolu.
- 4) Taga erinevate paljunemiseks ja pesitsemiseks vajalike ressursside olemasolu alal. Seejuures on looduslike ressursside tagamine efektiivsem kui kunstlike võimaluste loomine. Kasulikud võivad näiteks olla mätliku taimestiku esinemine alal, hõreda taimestiku esinemine alal, kraavi- või künkanõlvad ning puitstruktuurid pesakohtadeks. Mõnede tolmeldajate jaoks on paljunemiseks vajalikud teatud kindlad taimeliigid, millele

munad muned, seega on ka taimestiku (sh puittaimestiku) mitmekesisus oluline. Samuti on talvitumispakade tagamiseks hea jätta osa taimestikust sügisel niitmata.

- 5) Karjata või niida madala intensiivsusega (harva) ning pigem hiljem kui varem (vt ka peatükke 6.2.3 ja 6.2.4). Ajastuse valimise ja mitmekesise hooldusega (mitte niita kõike ühekorraga) saab tagada, et tolmeldajatele on ressursid kättesaadavad läbi aasta.
- 6) Loo ja säilita varieeruva struktuuriga taimestikku. Nii karjatamis- kui niitmisrežiimid peaksid soodustama mitmekesisus struktuuriga taimestiku kujunemist. Selle jaoks on hea jätta mõned alad hooldusest välja ning lasta seal rohi kõrgeks kasvada või luua erineva rohu kõrgusega laiuke. Ka ainult paneelide eest rohu madalama hoidmisega saab luua erineva rohustu kõrgusega piirkondi. Loe lähemalt ka Helm et al. (2020).
- 7) Välti agrokemikaalide, sh glüfosaadi kasutamist. Eelkõige kasutatakse PEJ-des herbitsiide, mis võivad hävitada tolmeldajate toidutaimed ja kahjustada tolmeldajaid. Herbitsiidide kasutamine PEJ aladel võiks olla lubatud ainult ohtlike invasiivsete võõrliikide eemaldamiseks ning ka siis ainult Keskkonnaameti loal.
- 8) Kõige enam on oluline rajada tolmeldajasõbralik PEJ homogeensetes ja intensiivse põllumajandusega maastikes, kus tolmeldajatele muid elupaiku napib. Mida suuremal alal on PEJ pinnast võimalik pakkuda tolmeldajatele elu-, toitumis- ja varjumispaika, seda enam on võimalik suurendada tolmeldamisteenuse pakkumist intensiivpõllumajanduslikes maastikes.
- 9) Soodusta sidusust PEJ ja maastikus asuvate pärandniitude või teiste looduslike alade vahel, kasutades näiteks mitmekesise taimestikuga rohumaaribasid või hekke koos rohumaaribaga. Sellised alad toimivad muidu liikidele sobimatutes maastikes (nt küntud põldude vahel) koridoridena ja võimaldavad tolmeldajate liikumist maastikes. Võimalusel kaalu ka sidususe soodustamist PEJ piiridest väljaspool. See võimaldab PEJ-del toimida maastikes nõ levimise astmekividena ning pärandniitude tugialadena (Holm et al. 2019).
- 10) Taga alal valgustingimuste heterogeensus. Selleks peaksid paneeliridade vahelisel alal olema vähemalt 3-4 meetri laiuselt hästi valgustatud alad, millest osa saaks olla peaaegu terve päeva päikese käes (Biesmeijer et al. 2020). Selleks peab paneeliridade vahekaugus olema vähemalt 10 meetrit. Lisaks aitavad mikrokliimaatilist varieeruvust tekitada ka alal esinevad põõsad ja puud.
- 11) Tekita või soodusta tolmeldajate pesakohtadeks sobivate elementide olemasolu – palgijupid, paljas maapind, kivi- ja kivihunnikud ja –aiad, üle talve püsivaid suurte kõrrelistega laigud (sobivad talvituskohad mitmetele tolmeldajaliikidele), vanad heinapallid, rookõrte puntrad, risuhunnikud, ka tehiskivid nn putukahotellid ja maasisesed kimalaste pesad jms.

6.2.7 VEEPUTUKATELE NEGATIIVSE MÕJU VÄHENDAMINE

- Veeputukaid kaitseb ökolõksu eest valged jooned paneelidel või veekogudest kaugemale ehitamine.

Päikesepaneelide ligitõmbavust veeputukatele on üsna edukalt aidanud vähendada 1-5 mm laused valged polariseerivat valgust mittepeegeldavad jooned (Black ja Robertson 2020). Samuti on proovitud paneelide pinnad katta matiks muutva vahendiga, kuid sellel on paneelide atraktiivsust vähendav mõju olnud ainult päikselise ilmaga, samas kui pilves ilmaga võis see putukaid isegi veel rohkem ligi meelitada. Parasvõttes on seega soovitatav PEJ-d veekogudest pigem kaugemale ehitada (Száz et al. 2016), kuigi täpsemat soovitava kauguse mõju ei ole veel uuritud.

6.2.8 LINDUDE SOODUSTAMINE

- Majanda ala maaspesitsevatele lindudele sobivalt ning istuta puid ja põõsaid.

Lagedamaid alasid PEJ sees oleks hea majandada sobivalt maaspesitsevatele lindudele – niita hiljem ning karjatades madalal koormusel ning mitte pesitsusajal (BirdLife... 2015, Montag et al. 2016). Elu- ja varjepaiku ning toitu pakuvad osadele lindudele ka puud ja põõsad PEJ aladel ja ümbruses (Pettersson et al. 2020). Puude otsa võib paigaldada ka lindudele pesakaste, kui sobivaid pesakohti on vähe (Pettersson et al. 2022, Raab 2015). Seejuures sõltub pesakasti suurus ja muud omadused liigist, kes ümbruskonnas võiks elada ja keda soovitakse kohale meelitada (Pettersson et al. 2022).

6.2.9 KÄSITIIVALISTE SOODUSTAMINE

- Nahkhiirte pesakastide paigaldamine võib olla hea sobiva elupaiga olemasolul.

Kui PEJ juures on sobivad elupaigad nahkhiirtele (näiteks mõni hea veekogu või noor mets), kuid puuduvad vanad õõnsad puud, kus nad peatuda saaksid, siis võib käsitiivalistele paigaldada ka pesakaste PEJ alale või selle lähedusesse (Pettersson et al. 2022, Raab 2015).

6.2.10 KAHEPAIKSETE JA ROOMAJATE SOODUSTAMINE

- Veekogud suurendavad elurikkust ja sobivad elupaigaks kahepaiksetele.

Väikesed veekogud on kasulikud kahepaiksetele ja mitmetele teistele loomadele (Peschel et al. 2019, Pettersson et al. 2022, Rannap et al. 2016, Solar Energy UK 2022). Kahepaiksetele parima mõju omamiseks on vaja jälgida, et neile ka ümbritsevas maastikus piisavalt sobivaid elupaiku leidub (Rannap et al. 2009). Head on **madalad, selge veega, väga lauge servaga ja päikesele avatud** tiigid, kus ei ela kalu ega vähilaadseid (Magnus ja Rannap 2019, Pettersson et al. 2022, Rannap et al. 2016). Vee sügavus tiigi keskel võiks olla 0,5-1 m. Kui ruumi on rohkem, võib kaevata mitu väikest veesilma või erineva sügavusega tiiki, et luua sobivaid elutingimusi erinevatele liikidele (Rannap et al. 2009). Puud ja põõsad sobivad tiigi äärde vaid siis, kui nad tiiki ei varjuta (või kui varjutavad, siis ainult päeva kõige kuumemal ajal) (Pettersson et al. 2022).

Kui alal on kraave või ojasid, siis nende hooldamine ning looduslikustamine (kraavide muutmine looklevateks ning laugenõlvaliseks) aitab samuti kaasa vee-elustiku ning kahepaiksete paremale käekäigule (Pettersson et al. 2022, Solar Energy UK 2022). Kahepaikseid ja roomajaid soosib ka kuivendatud alade taasmärjastamine ja loodusliku veerežiimi taastamine, kuid sellisel juhul on oluline vältida hundinuia vohamist alal.

- Hoia tiigid avatuna.

Mõõdukas veetaimestik on küll kahepaiksetele hea, kuid kindlasti on vaja vältida liiga kõrget taimestikku ja tiikide kinnikasvamist (Magnus ja Rannap 2019, Pettersson et al. 2022, Rannap et al. 2016). Seda aitab vältida tiigi kallaste karjatamine (Pettersson et al. 2022, Rannap et al. 2009). Samas on hea, kui loomi ei ole ühe tiigi kohta liiga palju, nii et nad tiigi kaldad poriseks tallavad (Rannap et al. 2016). Kui karjatamine ei ole võimalik, siis tuleks kord aastas tiigi kaldad niita ja niidetud materjal ära viia (Pettersson et al. 2022, Rannap et al. 2016). Esimestel aastatel võib olla vajalik hundinuia käsitsi väljakitkumine, kui see peaks hakkama lausaliselt vohama. Samuti, kui tiigis peaksid hakkama vohama niitvetikad, siis tuleks neid nt rehaga tiigist välja tõmmata, tagamaks kahepaiksetele soodsad elutingimused (Rannap et al. 2016).

- Tekita kahepaiksetele ja roomajatele talvitusmiskohti.

Kui looduslikke talvitumispaidu on ümbruskonnas vähe, siis on hea tekitada PEJ alale puidu- või kivihunnikuid kahepaiksetele ja roomajatele talvitumispaiadeks (Pettersson et al. 2022, Peschel et al. 2019, SolarPower Europe 2021b). Sobiva puidukuhjatise rajamiseks tuleks koguda PEJ mittekasutatavasse osasse puutüvesid, oksid, kande. Tegu on elupaigaga paljudele organismidele – putukatele, siilidele, samblikele, sammaldele, seentele ja pisiimetajatele. Puidukuhjatise võiks koosneda eelistatavalt lehtpuidust ja esindatud peaks olema erineva kõdunemisastmega puitu. Kuhjatisi võiks olla nii päikesepaistelises kui ka varjulises kohas. Kiviaedade ja kivikuhjatiste/kivikangrude rajamine on kasulik ka paljudele putukatele, roomajatele, kahepaiksetele, samblikele ja sammaldele. Eriti hästi sobivad kivikuhjatise veekogude lähedusse, toetamaks just veeputukaid ja kahepaikseid (Pettersson et al. 2022).

Kahepaiksetele võib talvitumiseks luua ka nn kahepaiksete hotelle. Selleks on vaja kaevata mõnemeetrise läbimõõduga süvend, panna selle põhja killustikku, et koht oleks hästi kuivendatud. Sinna peale asetatakse hulk looduslikke kive, mille vahel kahepaiksed talvituda saavad. Kivide peale võib panna ja oksid ja risu. Kõik see kaetakse pealt mullaga, jättes ehitise ühelt poolt lahti, et konnad sisse ja välja pääseksid (Pettersson et al. 2022).

6.2.11 MUUD ELURIKKUST SOODUSTAVAD VÕTTED - KOHALIKE OLUDE KASUTAMINE ELURIKKUSE HEAKS

- Liivase maapinna kasutamine elurikkuse soodustamiseks.

Kui PEJ asub liivasel pinnal, võib elurikkuse toetamiseks olla hea võimalus liivikute tekitamine koos regulaarsete häiringute tagamisega, et anda võimalus liivikutele iseloomuliku elustiku kujunemiseks. Selleks sobib näiteks pinna äestamine erineva intensiivsusega, et tekiks nii kerge häiringuga piirkondi kui ka täiesti avatud liivaga kohti. Umbes 30-50% pinnast peaks olema paljas liiv. Kui ala ei asu liivasel pinnal, võib liiva ka mujalt kohale tuua ning tekitada avatud liivaribad või -kuhjad. Kui liiva on palju, võib luua 1-2 meetri kõrgused liivakünkad ning luua varieeruva topograafiaga ala. Liivased kohad peaksid olema niitude lähedal, et liivas pesitsevad putukad saaksid kerge vaevaga toitu leida. Liivikute hooldamine sõltub nende suurusest ning kinnikasvamise kiirusest. Väiksemaid laiaks tuleks uuesti äestada iga paari aasta tagant. Kui ala on karjatatav, hoiab loomade tekitatud häiring liiva avatuna (Pettersson et al. 2022).

- Kivise maapinna kasutamise elurikkuse soodustamiseks.

Kui PEJ alal esineb paljastatud maapinnaga piirkondi, nt kivised alad, siis neid tuleks säilitada (Raab 2015). Kasulik on ka tahtlikult väikeste laikude (mõneruutmeetrised) taimestikuvaba hoidmine, kuna taimestikuvaba pinnas on paljudele tolmeldajatele sobivaks pesitsuskohaks. Kindlasti tuleks säilitada alal esievad kivikangrude, rändrahnude, vanad kiviaiaajupid ja muud taolised maastikuelemendid, mis on heaks elupaigaks paljudele liikidele.

- Majandamise mitmekesisus tagab elupaigad erinevatele liikidele.

Kui PEJ on jaotatud mitmeks lähestikku asuvaks osaks (või on lihtsalt mitu PEJ lähestikku), siis on hea majandada neid kõiki natuke erinevalt, näiteks niita kahlenädalase vahel või mõnda karjatada ja mõnda niita, et tekitada sobivaid elupaiku erinevatele liikidele (Montag et al. 2016).

6.3.1 AGRO-PÄIKESEENERGIAJAAMAD

- Agro-päikeseenergiajaamad = toidutootmine + energiatootmine.

Agro-päikeseenergiajaamasid (ka agro-PEJ) võib vaadata kui toidu-energia süsteeme, seejuures on oluline rõhuasetus toidutootmise säilitamisel ja ka parandamisel (Schindele et al. 2020). Päikeseenergia tootmise integreerimine põllumajandustegevustega võimaldab suurendada samalt pinnaühikult saadavat tulu (Dinesh ja Pearce 2016, Pettersson et al. 2022, Schindele et al. 2020), mitmekesistada põllumeeste sissetulekuid (Cuppari et al. 2021) ning vähendada põllumajanduse ja energiatootmise konkurentsi maakasutuses (Adeh et al. 2018, Dinesh ja Pearce 2016). Seda võib ka vaadata kui omamoodi kliimakohanemissüsteemi - kuumemates tingimustes aitab varjutamine kaitsta põllutaimi kuumakahjustuste eest ning samal ajal toota kliimasõbralikku taastuenergiat (Schindele et al. 2020).

- Võimalusi päikeseenergia integreerimiseks põllumajandustegevusega

Päikeseenergia tootmist on põllumajandustegevusega võimalik siduda mitmel viisil. Ka põllumajanduspiirkondades eelkõige hea kasutada ära olemasolevaid ehitisi – näiteks lautade, varjualuste või kasvuhoonete katuseid ja fassaade – päikesepaneelide paigaldamiseks. Samamoodi on paneele võimalik kombineerida pimedas kasvavate kultuuride kasvatamisega, näiteks valge spargel (Willockx ja Cappelle 2020), seened ja lehtsigur.

Paneele on võimalik integreerida kasvuhoonete seintesse ja katustesse, varustamaks kasvuhoonet selle tööks vajaliku energiaga (La Notte et al. 2020). Taimi on võimalik kultiveerida maapinna lähedale kinnitatud paneelide vahel ja all kui ka maapinnast kõrgemale tõstetud paneelidega poolsuletud struktuuride all ([joonis 13](#); SolarPower Europe 2021, Trommsdorff et al. 2022). Põllu kohale kõrgetele vaiadele püstitatud paneelide vahel on võimalik teha tööd ka raskete põllutöömasinatega, kui süsteemi rajamisel on arvesse võetud kasutatava tehnika kõrgust ja laiust (Pettersson et al. 2021, Trommsdorff et al. 2021). Paneelid võivad olla fikseeritud või järgida päikese liikumist (Abidin et al. 2021). Paneelide vahel on võimalik teha ka heina ([vt peatükk 6.2.3](#)) ja tegeleda loomakasvatusega ([vt peatükk 6.2.5](#)).



Joonis 13. Päikeseenergia ja põllumajanduse koostootmine. Üleval vasakul: tomatite kasvatamine paneelide all Austrias (foto: Aturnipal, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0); üleval paremal: prinikasvatus pool-läbipaistvate paneelide all Belgias (SolarPower Europe 2021a); all vasakul: päikeseenergiajaam riisipõllu kohal Jaapanis (foto: Σ64, Wikimedia Commons, CC BY 3.0); all paremal: päikeseenergiajaam nisupõllu kohal Saksamaal (foto: Aturnipal, Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0).

- Peamised tingimused, mida on vaja arvesse võtta.

Agro-PEJ süsteemide omadused on vaja optimeerida vastavalt geograafilisele piirkonnale, valitud kultuurile ning kasutatavatele agronoomilistele majandamisvõtetele (Abidin et al. 2021). Üldiselt soovitatakse, et taimedeni peaks jõudma vähemalt 50% valgusest (Weselek et al. 2019 ja viited selles). Arvestades Eesti laiuskraadil päikesekiirguse madalamat intensiivsust, võib soovituslik taimedeni jõudva valguse hulk Eestis tõenäoliselt pigem veidi suurem olla.

Parima põllumajandus- ja elektritoodangu saamiseks on vaja optimeerida nii paneelide kõrgust, ridade vahelist laiust, paneelide tihedust reas, nende kaldenurka nii maapinna kui ilmakaarte suhtes kui ka paneelide liikumise dünaamikat (Abidin et al. 2018 ja viited seal, Abidin et al. 2021 ja viited seal), samuti näiteks paneelide paigutuse mustrit kasvuhoonetel valgus ühtlasemaks jaotuseks (Cossu et al. 2018, Kadowaki et al. 2012, Yano et al. 2010). Parima paneelide paigutuse saab välja selgitada katsete ja mudeldamise teel (Dinesh ja Pearce 2016, Trommsdorff et al. 2021, Weselek et al. 2019) ning süsteemi rajamisel on oluline tihe koostöö põllumehe, projekteerijate ja ehitajatega jne, et luua vajaduste ja kasvatatavale kultuurile sobiv süsteem (Pettersson et al. 2022). Eestis selliseid töid veel tehtud ei ole. Parimate praegu Euroopas kasutusel olevate praktikate ja tehniliste lahendustega tutvumiseks soovitame huvilistel tutvuda SolarPower Europe (2021) ja Trommsdorff et al. (2022) juhenditega. Rootsi kogemustest saab lähemalt lugeda Pettersson et al. (2022) juhendist.

6.3.2 AGRO-PÄIKESEENERGIAJAAMADESSE SOBIVAD KULTUURID

- Millised kultuurid sobivad paneelide varjus kasvatamiseks?

Päikeseenergiajaamu saab põllumajanduslikult kasutada väga erineval moel – kasvatada toitu, loomasööta, linnuseemet, seemnetaimi (nii kultuur- kui looduslikke taimi) ja lõikelilled. Sobivad nii ühe- kui mitmeaastased, ka puitunud taimed ning võimalik on ka aiataimede tootmine. Võib öelda, et kasvatada saab peaaegu kõike, kuid erinevate kultuuride saagikus võib sõltuvalt varjutuse ulatusest tugevalt erineda (Pettersson et al. 2022).

Parima maakasutuse huvides saab erineva varjutusega tsoonides kasvatada erinevate omaduste ja valgusnõudlikkusega taimi vaheldumisi (Abidin et al. 2021, Pettersson et al. 2022). Paneelide tekitatavat osalist varju on hea ära kasutada varjuarmastavate või -taluvate kultuuride kasvatamiseks, näiteks lehtköögiviljad (salat, spinat, rukola, lehtkapsas), maitsetaimed (petersell, mündid, aed-liivatee), juurköögiviljad (kartul, porgand, kaalikas, peet, küüslauk, murulauk, talisibul), kapsad (brokoli, lillkapsas, peakapsas), kaunviljad (herned, oad) ja marjad (vaarikas, must sõstar, mustikas), aga ka tomatid, kurgid ja piprad (Ahsan 2014, Dinesh ja Pearce 2016, Marrou et al. 2013b, La Notte et al. 2020 ja seal viidatud tööd, Oudes et al. 2022, Vanderlinden 2010, Weselek et al. 2019 ja seal viidatud tööd). Samas on ka välja toodud, et mõnedel kultuuridel, nt tomatitel, on just viljade kasvuperioodil vaja tugevamat päikesekiirgust (Pettersson et al. 2022).

Päikeseenergiajaamadega koos ei sobi kasvatamiseks väga valgusarmastavad kultuurid, nt mais ja päevalill, ning kõrgkasvulised kultuurid, mis ei mahu paneelide alla ning võivad hakata varjutama, kuigi see sõltub PEJ konstruktsioonist ja kõrgusest. Kõrgel postidel asuvates süsteemides võib olla võimalik tavapärase harimine (Pettersson et al. 2022).

- Millised kultuurid võiksid sobida Eestis kasvatamiseks?

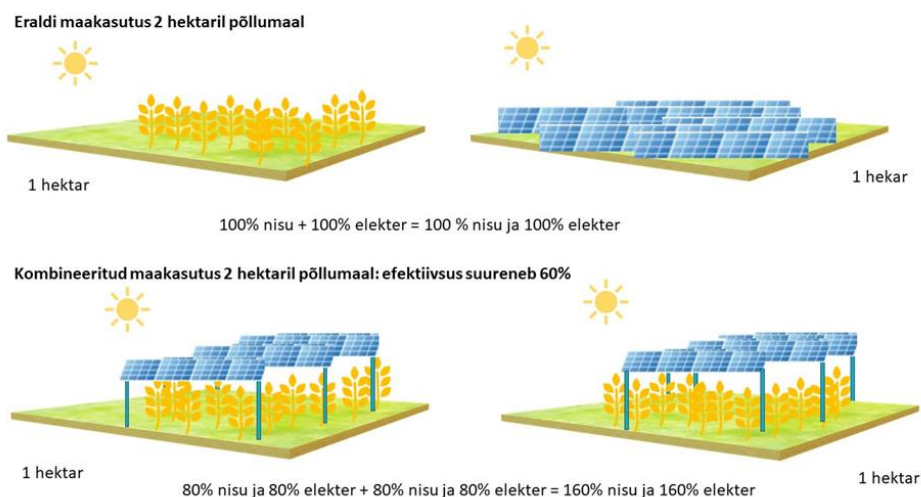
Erinevate kultuuride varjus kasvatamise sobivust ja parimaid tingimusi nende Eestis kasvatamiseks on vaja veel hinnata, kuna enamik katseid (sh erinevate teraviljade, puuviljade ja tomatitega) on seni tehtud piirkondades, kus päikesevalguse intensiivsus on suurem kui Eestis (La Notte et al. 2020 ja seal viidatud tööd, Weselek et al. 2019 ja seal viidatud tööd). Näiteks juurköögiviljade ning kaunviljade korral pikeneb köögivilja valmimise aeg varjus kasvatades (Vanderlinden 2022), mis võib Eesti tingimustes nende varjus kasvatamise ebasobivaks muuta. Mudeldades talinisu kasvutingimusi päikesepaneelide all, leidsid Willockx et al. (2020), et Eesti kuulub piirkonda, kus paneelidega varjutamine võiks talinisu saagikust üsna tugevalt vähendada.

Meile lähimatest riikidest on agro-PEJ lahendusi katsetatud Rootsis, kuid ka seal on neid peamiselt kasutuses vaid silo toomisel või biorafineerimistehases kasutatavate hein- ja liblikõieliste taimesegude kasvatamisel. Katsed teiste põllukultuuridega Rootsi tingimustes pole veel lõppenud ja tulemused on seega teadmata (Pettersson et al. 2022).

6.3.3 MITMEOTSTARBELISE PÕLLUMAJANDUSLIKU MAAKASUTUSE MAJANDUSLIK TASUVUS

- Agro-PEJ süsteemide tasuvus ja millest see sõltub?

Teatav saagikuse langus osalise varjutamise korral on küll sage, kuid elektritootmisest saadav lisatulu võib paneelide kasutamise põllumehe jaoks siiski majanduslikult kasulikuks teha (Riaz et al. 2021b, Weselek et al. 2019). **Kombineeritud tulu pinna kohta võib olla 30–73% suurem kui ainult põllupidamise või ainult päikeseenergia tootmise korral (joonis 14; Dinesh ja Pearce 2016, Dupraz et al. 2011).**



Joonis 14. Päikeseenergiajaamade integreerimine põllumajandustegevusse suurendab maakasutuse efektiivsust ning kogutulu pinnaühiku kohta (Metsolar 2021 järgi).

Tasuvus sõltub siiski kasvatatavast kultuurist, olemasoleva tehnika sobivusest, konkreetse aasta ilmastikust jne. Näiteks Saksamaal läbi viidud katses tasus päikesepaneelide all kartuli kasvatamine majanduslikult ära, kuid talinisu kasvatamine mitte. Samuti leiti, et tasuvus võib olla parem püsigultuuride korral (nagu puuviljad ja marjad) ning selliste kultuuride korral, mille koristamiseks on vaja väiksemaid masinaid, mis võimaldab ka paneele toetavad struktuurid madalamana ehitada (Schindele et al. 2020) ning on väiksem võimalus, et põllutöömashinad võiksid oma raskusega paneeliridu kahjustada (Pettersson et al. 2022). Parema tasuvuse võib olla ka kultuuride puhul, mis vajavad vähem tööd, näiteks hariliku lutserni korral (Cuppari et al. 2021). Samuti on leitud, et koostootmine võib paremini ära tasuda maheviljeluse korral (Schindele et al. 2020).

- Paneelide aluse keskkonna mõju tasuvusele.

Tasuvus sõltub ka ilmastikust, näiteks kuumematel suvedel võimaldab osaline varjutamine ning madalam aurumine paneelide all niiskust hoida ning kaitsta taimi kuumalainete eest (Trommsdorff et al. 2021, Weselek et al. 2019). Lõuna-Saksamaal läbi viidud katsed talinisu, kartuli ja selleriga näitasid, et kui vihmase ajal aastal paneelide all saagikused võrreldes kontrollaladega vähenesid 18–19%, siis kuumal ja põuasel aastal oli saagikus paneelide all 3–12% kõrgem kui kontrollaladel. Samas ei pruugi see nii olla kõigi kultuuride puhul, sest näiteks ristiku saagikus oli mõlemal aastal paneelide all ühtemoodi 5–8% madalam (Trommsdorff et al. 2021).

Keskkonnatingimuste muutus paneelide all võib olla kasulik ka selleks, et pikendada läbi varjutamise saagi valmimise perioodi ning seega reguleerida saagi müügi aega ning selle eest saadavat hinda (Lobos et al. 2013). Samuti võib paneelide all kasvatades muutuda kõrgemaks mõnede toitainete sisaldus viljades (näiteks kõrgem valkude või õli sisaldus), mis võimaldab küsida toote eest kõrgemat hinda (Weselek et al. 2019).

- Seadusandluse mõju tasuvusele.

Tasuvuse juures on oluline ka riigi seadused ja toetussüsteemid, seetõttu ei ole võimalik mujal tehtud arvutusi otse Eesti tingimustesse üle kanda. Näiteks Saksamaal on võimalik põllumajandussüsteemidesse integreeritud päikesepaneelide aluse pinna eest saada põllumajandustoetusi (Schindele et al. 2020), kuid Eesti seadusandlus seda hetkel ei võimalda (Madise 2020). Mitmetes riikides on olemas ka spetsiaalsed toetused agro-PEJ süsteemide arendamiseks, näiteks Prantsusmaal, Lõuna-Koreas, Jaapanis, Hiinas, Itaalias ja paaris Ameerika Ühendriikide osariigis ning ka Euroopa Liidu kohta on soovitatud, et üldine põllumajanduspoliitika võiks agro-PEJ süsteemide rajamist toetada (Pettersson et al. 2022, Schindele et al. 2020).

Kliimakriisi kõrval seisab inimkond silmitsi ka elurikkuse kriisiga, mistõttu on vajalik võtta elurikkuse hoidmist ja taastamist arvesse kõigis tegevusvaldkondades. Päikeseenergiajaamad, mis aitavad leevendada kliimakriisi läbi taastuvenergia tootmise, võivad ühtlasi panustada ka looduskaitse, kui neid planeerida ning hooldada elurikkust silmas pidades.

Hästi teostatud asukohavaliku ning hoolikalt valitud töömeetoditega on võimalik hoida suuremate negatiivsetest keskkonnamõjudest päikeseenergiajaamade (PEJ) rajamisel ja hooldamisel. Oluline on seejuures järgida PEJ-de rajamise head tava, vältida jaamade rajamist heas seisus või kaitstavatesse elupaikadesse ja väärtuslikesse maastikesse, rakendada sobivaid leevendusmeetmeid ning hooldada jaamasid neid elurikkust silmas pidades. Päikeseenergiajaamu on eelkõige soovitatava rajada kohtadesse, kus selleks ei kulu eraldi maad või kus kooslused on juba varasemalt degradeerunud. Sellistes kooslustes on ökoloogilise taastamise põhimõtteid kasutades võimalik koosluste seisundit parandada ning luua elupaiku erinevatele liikidele.

Mitmete lihtsate ja kulutõhusate võtetega on võimalik leevendada PEJ keskkonnamõjusid. Näiteks väiksem maapinna häiring rajamise või PEJ lammutamise ajal tagab elustiku kiirema taastumise tööde lõppemise järel. Suuremad vahed paneeliridade vahel aga annavad rohkem ruumi elustikule ning tagavad rohkema päikesevalguse jõudmise maapinnani, mis on vajalik nii taimede, putukate kui ka teiste organismide liigirikkuse suurendamiseks. Elustikusõbralikud aiad võimaldavad loomade liikumist ning puud ja põõsad pakuvad neile elupaika. Üks paremaid võtteid elurikkuse seisukohast on ka PEJ aluse maapinna taastamine ja hooldamine liigiliselt mitmekesise niidukooslusena, mille majandamisel lähtutakse erinevate organismide vajadustest. Samuti on kasulik PEJ aladele luua liikidele lisaks elu- ja varjupaiku, näiteks väikeveekogusid, pesakaste ja talvitumispaiku.

Integreerides PEJ-d põllumajandustootmisega, saab suurendada maakasutuse efektiivsust, parandada põldude tolmeldamisteenust ning tuua stabiilset lisatulu põllumajandustootjatele. Näiteks võimaldavad jaamad lisaks elektritootmisele toota paneelide vahel loomasööta või karjatada seal loomi (eelkõige lambaid, aga ka teisi liike). Päikeseenergiajaamade aluse niidu majandamine putukasõbralikult võimaldab põllumajandusmaastikes suurendada tolmeldajate arvukust ja liigirikkust ning suurendada põllukahjurite looduslike vaenlaste hulka. Paneelide integreerimine kasvuhoonetesse või põldude kohale on ka hea võimalus suurendada maakasutuse efektiivsust, kuid selle tegevuse sobivust Eesti oludesse ning siin kasvatatavate kultuuridega on veel vaja hinnata.

Elurikkuse sidumine kõigisse maakasutuse valdkondadesse on vajalik rohepöördega seotud eesmärkide täitmiseks ning meile kõigile eluväärse keskkonna tagamisel. Päikeseenergiajaamade puhul on see suhteliselt lihtne, vaja on vaid head ruumilist planeerimist, mis väldib kahju olulistele loodusaladele ning liikidele ning oskuslikku rajamist ja hooldust, mis võimaldavad kas elurikkuse ja erinevate looduslike funktsioonide ja hüvede säilimist või juba vaesunud aladel elurikkuse netokasvu.

Abidin, M.A.Z., Mahyuddin, M.N., Zainuri, M.A.A.M. (2021) Solar photovoltaic architecture and agronomic management in agrivoltaic system: A review. *Sustainability*. **13**(14), 18–21.

Adeh, E.H., Selker, J.S., Higgins, C.W. (2018) Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLoS ONE*. **13**(11), e0203256.

AECOM (2016) *Co-location investigation. A study into the potential for co-locating wind and solar farms in Australia*.

Ahsan, Farhan. (24.05.2014) Top 12 shade loving vegetables and herbs to grow. <https://theselfsufficientliving.com/vegetables-and-herbs-that-grow-in-shade/> [Vaadatud 22.11.2022].

Almeida, R.M., Schmitt, R., Grodsky, S.M., Flecker, A.S., Gomes, C.P., Zhao, L., Liu, H., Barros, N., Kelman, R., McIntyre, P.B. (2022) Floating solar power could help fight climate change — let's get it right. *Nature*. **606**(7913), 246–249.

ARENA. (27.04.2020) Transparent solar panel breakthrough puts the future of solar in clear view. Arenawire. <https://researchinestonia.eu/2022/01/26/smart-windows-convert-light-into-electricity/> [Vaadatud 30.11.2022].

Armstrong, Alona, Brown, L., Davies, G., Whyatt, J.D., Potts, S.G. (2021) Honeybee pollination benefits could inform solar park business cases, planning decisions and environmental sustainability targets. *Biological Conservation*. **263**(September), 109332.

Armstrong, A., Ostle, N.J., Whitaker, J. (2016) Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*. **11**(7), 074016.

Armstrong, A., Waldron, S., Whitaker, J., Ostle, N.J. (2014) Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: Uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. *Global Change Biology*. **20**(6), 1699–1706.

Armstrong, John H., Kulikowski, A.J., Philpott, S.M. (2021) Urban renewable energy and ecosystems: integrating vegetation with ground-mounted solar arrays increases arthropod abundance of key functional groups. *Urban Ecosystems*. **24**(3), 621–631.

AS Eesti Gaas. Päikeseenergia. (2022) <https://www.gaas.ee/arikliendile/paikeseenergia/> [Vaadatud 22.11.2022].

ASGA (2022) The American Solar Grazing Association. <https://solargrazing.org/> [Vaadatud 18.11.2022].

Barron-Gafford, G.A., Minor, R.L., Allen, N.A., Cronin, A.D., Brooks, A.E., Pavao-Zuckerman, M.A. (2016) The photovoltaic heat island effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific Reports*. **6**, 35070.

Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., Carbone, G. (2021a) *Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: guidelines for project developers*. IUCN, Gland, Switzerland and The Biodiversity Consultancy, Cambridge, UK.

Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., Carbone, G. (2021b) *Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: synthesis and key messages*. IUCN, Gland, Switzerland and The Biodiversity Consultancy, Cambridge, UK.

Biesmeijer, K., van Kolschoten, L., Wit, F., Moens, M. (2020) *The effects of solar parks on plants and pollinators: the case of Shell Moerdijk*. Leiden.

BirdLife International Corncrake Conservation Team (2015) *Fifth meeting of the Corncrake Conservation Team 2015*. Pilsen.

Black, T. V, Robertson, B.A. (2020) How to disguise evolutionary traps created by solar panels. *Journal of Insect Conservation*. **24**(2), 241–247.

Blaydes, H., Gardner, E., Whyatt, J.D., Potts, S.G., Armstrong, A. (2022) Solar park management and design to boost bumble bee populations. *Environmental Research Letters*. **17**(4), 044002.

Blaydes, H., Potts, S.G., Whyatt, J.D., Armstrong, A. (2021) Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **145**, 111065.

Bódis, K., Kougias, I., Taylor, N., Jäger-Waldau, A. (2019) Solar photovoltaic electricity generation: A lifeline for the european coal regions in transition. *Sustainability (Switzerland)*. **11**(13), 3703.

Boeing, A., Neda, M., Steinberg, S., Batista, J. (2022) The impact of lower quality water on soiling removal from photovoltaic panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **169**, 112870.

Bracken, N., Macknick, J., Tovar-Hastings, A., Komor, P., Gerritsen, M., Mehta, S. (2015) *Concentrating Solar Power and Water Issues in the U.S. Southwest*. Denver.

Buchan, C., Franco, A.M.A., Catry, I., Gamero, A., Klvaňová, A., Gilroy, J.J. (2022) Spatially explicit risk mapping reveals direct anthropogenic impacts on migratory birds. *Global Ecology and Biogeography*. **31**(9), 1707–1725.

Catalbas, M.C., Kocak, B., Yenipinar, B. (2021) Analysis of photovoltaic-green roofs in OSTIM industrial zone. *International Journal of Hydrogen Energy*. **46**(27), 14844–14856.

Choi, C.S., Cagle, A.E., Macknick, J., Bloom, D.E., Caplan, J.S., Ravi, S. (2020) Effects of revegetation on soil physical and chemical properties in solar photovoltaic infrastructure. *Frontiers in Environmental Science*. **8**, 140.

Cizek, O., Zamecnik, J., Tropek, R., Kocarek, P., Konvicka, M. (2012) Diversification of mowing regime increases arthropods diversity in species-poor cultural hay meadows. *Journal of Insect Conservation*. **16**(2), 215–226.

Consultare OÜ. (2020) *Päikeseelektrijaamade rajamine Otepää loodusala Keskonnajärgude hindamise (KMH) eelhindang ja Natura eelhindang*. Tartu.

Cossu, M., Cossu, A., Deligios, P.A., Ledda, L., Li, Z., Fatnassi, H., Poncet, C., Yano, A. (2018) Assessment and comparison of the solar radiation distribution inside the main commercial photovoltaic greenhouse types in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **94**(June), 822–834.

Cuppari, R.I., Higgins, C.W., Characklis, G.W. (2021) Agrivoltaics and weather risk: A diversification strategy for landowners. *Applied Energy*. **291**(February), 116809.

Dalderup, T., Van Leijsen, M., Meppelink, M., Van den Oord, T., Richardson, T., Verdonk, M., Van Zeil, V. (2020) *Aquaculture activities in Energy Storage Lake: advice for cultivating shellfish and seaweed in combination with a floating solar park*.

Davis, Rob. (22.03.2019) Best practices for solar farm apiaries. Fresh Energy. <https://fresh-energy.org/best-practices-for-solar-farm-apiaries> [Vaadatud 08.12.2022].

Dent, Steve. (09.11.2022) New French law will require parking lots to install solar panels. Engadget. <https://www.engadget.com/france-new-law-parking-lots-solar-panels-100435214.html> [Vaadatud 18.11.2022].

Dhar, A., Naeth, M.A., Jennings, P.D., Gamal El-Din, M. (2020) Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. *Science of the Total Environment*. **718**, 134602.

Dinesh, H., Pearce, J.M. (2016) The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **54**, 299–308.

Doljak, D., Stanojević, G. (2017) Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*. **127**, 291–300.

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.

Duurzaam Haren (2022) Polyculture Solar Park De Mikkellhorst. <https://www.duurzaamharen.nl/project/polycultuur-zonnepark-de-mikkellhorst/> [Vaadatud 02.12.2022].

Enkhardt, Sandra (2020) Photovoltaics for highways. pv magazine. <https://www.pv-magazine.com/2020/09/01/photovoltaics-for-highways/> [Vaadatud 18.01.2023].

Enkhardt, Sandra (2023) Swiss startup makes first attempt to deploy solar on railways. pv magazine. <https://www.pv-magazine.com/2023/01/13/swiss-startup-makes-first-attempt-to-deploy-solar-on-railways/> [Vaadatud 18.01.2023].

Fernández, E.F., Villar-Fernández, A., Montes-Romero, J., Ruiz-Torres, L., Rodrigo, P.M., Manzaneda, A.J., Almonacid, F. (2022) Global energy assessment of the potential of photovoltaics for greenhouse farming. *Applied Energy*. **309**, 118474.

Finn, T., McKenzie, P. (2020) A high-resolution suitability index for solar farm location in complex landscapes. *Renewable Energy*. **158**, 520–533.

Fluri, T.P. (2009) The potential of concentrating solar power in South Africa. *Energy Policy*. **37**(12), 5075–5080.

Fthenakis, V., Blunden, J., Green, T., Krueger, L., Turney, D. (2011) Large photovoltaic power plants: Wildlife impacts and benefits. In *2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. Seattle: IEEE, pp. 002011–002016.

Gorman, C.E., Torsney, A., Gaughran, A., McKeon, C.M., Farrell, C.A., White, C., Donohue, I., Stout, J.C., Buckley, Y.M. (2023) Reconciling climate action with the need for biodiversity protection, restoration and rehabilitation. *Science of The Total Environment*. **857**, 159316.

Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A.P., Moldenke, A.R., Debano, S.J., Best, L.R., Higgins, C.W. (2021) Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late - season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*. **11**, 7452.

Greif, S. (2017) Acoustic mirrors as sensory traps for bats. *Science*. **1047**, 1045–1047.

Greif, S., Siemers, B.M. (2010) Innate recognition of water bodies in echolocating bats. *Nature Communications*. **1**(8), 107.

Grippo, M., Hayse, J.W., Connor, B.L.O. (2020) Solar energy development and aquatic ecosystems in the Southwestern United States: Potential impacts, mitigation, and research needs. *Environmental Management*. **55**(2015), 244–256.

Guerin, T. (2017) A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia. *Solar Energy*. **146**, 94–104.

Guoqing, L., Hernandez, R.R., Blackburn, G.A., Davies, G., Hunt, M., Whyatt, J.D., Armstrong, A. (2021) Ground-mounted photovoltaic solar parks promote land surface cool islands in arid ecosystems. *Renewable and Sustainable Energy Transition*. **1**(September), 100008.

Hamed, T.A., Alshare, A. (2022) Environmental impact of solar and wind energy - A review. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. **102**, 1090387.

Harrison, C., Lloyd, H., Field, C., England, N. (2017) *Evidence review of the impact of solar farms on birds, bats and general ecology (NEER012)*.

Al Heib, M., Cherkaoui, A. (2021) Assessment of the Advantages and Limitations of Installing PV Systems on Abandoned Dumps. *Materials Proceedings*. **5**, 68.

Helm, A., Nurme, S., Söber, V., Meriste, M., Aavik, T. (2020). Riigiteede niidetavate pindade ja hekkide korrashoid. Maantee ameti tellimusel koostatud aruanne. Nordic Botanical OÜ. Kättesaadav: https://www.dropbox.com/s/hwitryd6ft69x2b/ARUANNE_2020_Riigiteede_niidetavate_pindade_ja_hekkide_korrashoid.pdf?dl=0 [Vaadatud 01.01.2023]

Helm, A. (2021). Kuidas koduõue muru abil elurikkust toetada. Juhend. Pärandkoosluste Kaitse Ühing. Kättesaadav: <https://media.voog.com/0000/0037/1265/files/Kuidas%20kodumuru%20elurikkust%20toetab%20ELF2021.pdf> [Vaadatud 01.01.2023]

Helm, A., Kull, A., Veromann, E., Remm, L., Villoslada, M., Kikas, T., Aosaar, J., Tullus, T., Prangel, E., Linder, M., Otsus, M., Külm, S., Sepp, K., 2020 (täiend 2021). Metsa-, soo-, niidu- ja põllumajanduslike ökosüsteemide seisundi ning ökosüsteemiteenuste baastasemete üleriigilise hindamise ja kaardistamise lõpparuanne. ELME projekt. Tellija: Keskkonnaagentuur (riigihange nr 198846). Kättesaadav: <https://keskkonnaagentuur.ee/media/1482/download> [Vaadatud 18.01.2023]

Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., Allen, M.F. (2014) Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **29**, 766–779.

Holm, B., Aavik, T., Kasari, L., Luuk, O., Holm, A., Väli, K., Sandre, S., Kallaste, E. (2019). Poollooduslike koosluste jätkusuutliku majandamise tagamise analüüs. Tartu: Pärandkoosluste kaitse ühing & Eesti Rakendusüuringute Keskus CentAR OÜ. Kättesaadav: <https://owncloud.ut.ee/owncloud/index.php/s/LFpWZB7CZYCAxkG/download> [Vaadatud 01.01.2023]

Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Kriska, G., Seres, I., Robertson, B. (2010) Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology*. **24**(6), 1644–1653.

Horváth, G., Kriska, G., Malik, P., Robertson, B. (2009) Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and Evolution*. **7**(6), 317–325.

Hui, S.C.M., Chan, S.C. (2011) Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In *Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability*. Hong Kong.

- Kadowaki, M., Yano, A., Ishizu, F., Tanaka, T., Noda, S. (2012) Effects of greenhouse photovoltaic array shading on Welsh onion growth. *Biosystems Engineering*. **111**(3), 290–297.
- Karpouzoglou, T., Vlaswinkel, B., Van Der Molen, J. (2020) Effects of large-scale floating (solar photovoltaic) platforms on hydrodynamics and primary production in a coastal sea from a water column model. *Ocean Science*. **16**, 195–208.
- Kim, J.Y., Koide, D., Ishihama, F., Kadoya, T., Nishihiro, J. (2021) Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats. *Science of the Total Environment*. **779**, 146475.
- Kohv, K. (2007) *Harku valla rohevõrgustiku tuumalade ja koridoride uuring*. Eestimaa Looduse Fond.
- Kosciuch, K., Riser-Espinoza, D., Moqtaderi, C., Erickson, W. (2021) Aquatic habitat bird occurrences at photovoltaic solar energy development in Southern California, USA. *Diversity*. **13**, 524.
- Lafitte, A., Sordello, R., De Crespín De Billy, V., Froidevaux, J., Gourdain, P., Kerbirou, C., Langridge, J., Marx, G., Schatz, B., Thierry, C., Reyjol, Y. (2022) What evidence exists regarding the effects of photovoltaic panels on biodiversity? A critical systematic map protocol. *Environmental Evidence*. **11**, 36.
- Lambert, Q., Bischoff, A., Cueff, S., Cluchier, A., Gros, R. (2021) Effects of solar park construction and solar panels on soil quality, microclimate, CO₂ effluxes, and vegetation under a Mediterranean climate. *Land Degradation and Development*. **32**(18), 5190–5202.
- Lambert, T. (2022) *Introducing the ecosystem service concept to solar landscapes*. Wageningen University.
- Li, F., Meng, P., Fu, D., Wang, B. (2008) Light distribution, photosynthetic rate and yield in a Paulownia-wheat intercropping system in China. *Agroforestry Systems*. **74**, 163–172.
- Liu, Y., Ding, C., Su, D., Wang, Tiemei, Wang, Tao (2022) Solar park promoted microbial nitrogen and phosphorus cycle potentials but reduced soil prokaryotic diversity and network stability in alpine desert ecosystem. *Frontiers in Microbiology*. **13**(September), 976335.
- Lobos, G.A., Retamales, J.B., Hancock, J.F., Flore, J.A., Romero-Bravo, S., Del Pozo, A. (2013) Productivity and fruit quality of *Vaccinium corymbosum* cv. Elliott under photo-selective shading nets. *Scientia Horticulturae*. **153**, 143–149.
- Loik, M.E., Carter, S.A., Alers, G., Wade, C.E., Shugar, D., Corrado, C., Jokerst, D., Kitayama, C. (2017) Wavelength-selective solar photovoltaic systems: powering greenhouses for plant growth at the food-energy-water nexus. *Earth's Future*. **5**(10), 1044–1053.
- López, M., Rodríguez, N., Iglesias, G. (2020) Combined floating offshore wind and solar PV. *Journal of Marine Science and Engineering*. **8**, 576.
- Lovich, J., Ennen, J.R. (2011) Wildlife conservation and solar energy development in the desert southwest, United States. *BioScience*. **61**(12), 982–992.
- Madise, Ü. (2020) Päikesepaneelid ja põllumajandus. Meie 15.10.2020 nr 7-4/200923/2005543.
- Magnus, R., Rannap, R. (2019) Pond construction for threatened amphibians is an important conservation tool, even in landscapes with extant natural water bodies. *Wetlands Ecology and Management*. **27**(2–3), 323–341.
- Maia, A.S.C., Culhari, E. de A., Fonsêca, V. de F.C., Milan, H.F.M., Gebremedhin, K.G. (2020) Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production*. **258**, 120551.

Manchester, S.J., McNally, S., Treweek, J.R., Sparks, T.H., Mountford, J.O. (1999) The cost and practicality of techniques for the reversion of arable land to lowland wet grassland - An experimental study and review. *Journal of Environmental Management*. **55**(2), 91–109.

Männi, Marian. (26.01.2022) Smart windows convert light into electricity. Research in Estonia. <https://researchinestonia.eu/2022/01/26/smart-windows-convert-light-into-electricity/> [Vaadatud 30.11.2022].

De Marco, A., Petrosillo, I., Semeraro, T., Pasimeni, M.R., Aretano, R., Zurlini, G. (2014) The contribution of utility-scale solar energy to the global climate regulation and its effects on local ecosystem services. *Global Ecology and Conservation*. **2**(October), 324–337.

Marja, R., Elts, J., Keerberg, L. (2022) Rukkiräätu (*Crex crex*) individuaalne elupaigakasutus. *Hirundo*. **35**(1), 1–16.

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

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

Van Der Meulen, S.H. (2019) Costs and benefits of green roof types for cities and building owners. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. **7**, 57–71.

Metsolar (29.05.2021) What is agrivoltaics? How can solar energy and agriculture work together? <https://metsolar.eu/blog/what-is-agrivoltaics-how-can-solar-energy-and-agriculture-work-together/> [Vaadatud 11.12.2022].

Montag, H., Parker, G., Clarkson, T. (2016) *The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study*.

Moor, U., Mikk, M., Peepson, A. (2001) *Mitmeliigiliste põõsasribade rajamine*. Ökoloogiliste Tehnoloogiate Keskus.

Moore-O’Leary, K.A., Hernandez, R.R., Johnston, D.S., Abella, S.R., Tanner, K.E., Swanson, A.C., Kreidler, J., Lovich, J.E. (2017) Sustainability of utility-scale solar energy – critical ecological concepts. *Frontiers in Ecology and the Environment*. **15**(7), 385–394.

Moscatelli, M.C., Marabottini, R., Massaccesi, L., Marinari, S. (2022) Soil properties changes after seven years of ground mounted photovoltaic panels in Central Italy coastal area. *Geoderma Regional*. **29**(December 2021), e00500.

Nordberg, E.J., Caley, M. Julian, Schwarzkopf, L. (2021) Designing solar farms for synergistic commercial and conservation outcomes. *Solar Energy*. **228**(September), 586–593.

La Notte, L., Giordano, L., Calabrò, E., Bedini, R., Colla, G., Puglisi, G., Reale, A. (2020) Hybrid and organic photovoltaics for greenhouse applications. *Applied Energy*. **278**(July), 115582.

Oehl, F., Laczko, E., Oberholzer, H.R., Jansa, J., Egli, S. (2017) Diversity and biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*. **53**(7), 777–797.

Oudes, D., van den Brink, A., Stremke, S. (2022) Towards a typology of solar energy landscapes: Mixed-production, nature based and landscape inclusive solar power transitions. *Energy Research and Social Science*. **91**(August), 102742.

Paal, J. (2007) *Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamat*. Tallinn: Auratrükk.

Panagiotidou, M., Brito, M.C., Hamza, K., Jasieniak, J.J., Zhou, J. (2021) Prospects of photovoltaic rooftops, walls and windows at a city to building scale. *Solar Energy*. **230**(May), 675–687.

Parker, G.E., McQueen, C. (2013) *Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity? Preliminary Study July-August 2013*.

Pearce, D., Strittholt, J., Watt, T., Elkind, E.N. (2016) *A Path Forward: Identifying Least-Conflict Solar PV Development in California's San Joaquin Valley. Executive summary*.

Pereszlényi, Á., Horváth, G., Kriska, G. (2017) Atypical feeding of woodpeckers, crows and redstarts on mass-swarming *Hydropsyche pellucidula* caddisflies attracted to glass panes. *Urban Ecosystems*. **20**(6), 1203–1207.

Perry, G., Buchanan, B.W., Fisher, R., States, U., Survey, G., Salmon, M. (2008) Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments. In J. C. Mitchell & R. E. J. Brown, eds. *Herpetological Conservation*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, pp. 211–228.

Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., Hauke, J. (2019) *Solar parks - profits for biodiversity*.

Peschel, T. (2010) Solar parks - Opportunities for Biodiversity. *Renews Special*. (45), 35.

Pettersson, I., Morell, K., Råberg, T., van Noord, M., Zinko, U., Ghaem Sigarchian, S., Sandström, A., Unger, M. (2022) *Ecovoltaics och agrivoltaics - en handbok om solcellsparker som gynnar biologisk mångfald och ekosystemtjänster*. RISE Research Institutes of Sweden.

Pimentel Da Silva, G.D., Branco, D.A.C. (2018) Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. *Impact Assessment and Project Appraisal*. **36**(5), 390–400.

Poe, C., Plovnick, A., Hodges, T., Hastings, A., Dresley, S. (2017) *Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers*. Washington, DC.

Postma-Blaauw, M.B., de Goede, R.G.M., Bloem, J., Faber, J.H., Brussaard, L. (2012) Agricultural intensification and de-intensification differentially affect taxonomic diversity of predatory mites, earthworms, enchytraeids, nematodes and bacteria. *Applied Soil Ecology*. **57**, 39–49.

Raab, B. (2015) Erneuerbare Energien und Naturschutz – Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. *Anliegen Natur*. **37**(1), 67–76.

Randle-Boggis, R.J., White, P.C.L., Cruz, J., Parker, G., Montag, H., Scurlock, J.M.O., Armstrong, A. (2020) Realising co-benefits for natural capital and ecosystem services from solar parks: A co-developed, evidence-based approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **125**(March), 109775.

Rannap, R., Lohmus, A., Briggs, L. (2009) Restoring ponds for amphibians: A success story. *Hydrobiologia*. **634**(1), 87–95.

Rannap, V., Rannap, R., Lepik, I. (2016) *Tiigid. Tiikide rajamine ja taastamine*. Keskkonnaamet.

Ravishankar, E., Charles, M., Xiong, Y., Henry, R., Swift, J., Rech, J., Calero, J., Cho, S., Booth, R.E., Kim, T., Balzer, A.H., Qin, Y., Ho, C.H.Y., So, F., Stingelin, N., Amassian, A., Saravitz, C., You, W., Ade, H., Sederoff, H., O'Connor, B.T. (2021) Balancing crop production and energy harvesting in organic solar-powered greenhouses. *Cell Reports Physical Science*. **2**(3), 100381.

- Riaz, M.H., Imran, H., Younas, R., Alam, M.A., Butt, N.Z. (2021a) Module technology for agrivoltaics: vertical bifacial versus tilted monofacial farms. *IEEE Journal of Photovoltaics*. **11**(2), 469–477.
- Riaz, M.H., Imran, H., Younas, R., Butt, N.Z. (2021b) The optimization of vertical bifacial photovoltaic farms for efficient agrivoltaic systems. *Solar Energy*. **230**(February), 1004–1012.
- Rosa-Clot, M., Tina, G.M., Nizetic, S. (2017) Floating photovoltaic plants and wastewater basins: an Australian project. *Energy Procedia*. **134**, 664–674.
- Salameh, T., Ghenai, C., Merabet, A., Alkasrawi, M. (2020) Techno-economical optimization of an integrated stand-alone hybrid solar PV tracking and diesel generator power system in Khorfakkan, United Arab Emirates. *Energy*. **190**, 116475.
- Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., Lamata, M.T. (2015) Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants. *Computers and Industrial Engineering*. **87**, 343–355.
- Scheper, J., Bommarco, R., Holzschuh, A., Potts, S.G., Riedinger, V., Roberts, S.P.M., Rundlöf, M., Smith, H.G., Steffan-Dewenter, I., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Kleijn, D. (2015) Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. *Journal of Applied Ecology*. **52**, 1165–1175.
- De Schepper, E., Van Passel, S., Manca, J., Thewys, T. (2012) Combining photovoltaics and sound barriers e A feasibility study. *Renewable Energy*. **46**, 297–303.
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., Weber, E. (2020) Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*. **265**(March), 114737.
- Schotman, A., van der Zee, F., Hazeu, G., Bloem, J., Sluijsmans, J., Vittek, M. (2021) Verkenning van bodem en vegetatie in 25 zonneparken in Nederland; Eerste overzicht van de ligging van zonneparken in Nederland en stand van de kennis over het effect van zonneparken op de bodemkwaliteit. *Wageningen Environmental Research*, 116.
- 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.
- Sharpe, K.T., Heins, B.J., Buchanan, E.S., Reese, M.H. (2021) Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. *Journal of Dairy Science*. **104**(3), 2794–2806.
- Smallwood, K.S. (2022) Utility - scale solar impacts to volant wildlife. *The Journal of Wildlife Management*. **86**, e22216.
- Solar Energy UK. (2022) *Natural Capital Best Practice Guidance. Increasing biodiversity at all stages of a solar farm's lifecycle*.
- Solar Impulse Foundation (2022) <https://solarimpulse.com/companies/ocean-sun> [Vaadatud 17.12.2022].
- SolarPower Europe (2021a) *Agrisolar Best Practices Guidelines Version 1.0*.
- SolarPower Europe (2021b) *Operation & Maintenance. Best Practice Guidelines. Version 5.0*.
- Solar Roadways (2023) Solar Roadways Incorporated <https://solarroadways.com/> [Vaadatud 18.01.2023].
- Spinnanker (2022) Spinnanker GmbH. <http://www.spinnanker.com/> [Vaadatud 01.12.2022].

Stoms, D.M., Dashiell, S.L., Davis, F.W. (2013) Siting solar energy development to minimize biological impacts. *Renewable Energy*. **57**, 289–298.

Szabó, S., Bódis, K., Kougias, I., Moner-Girona, M., Jäger-Waldau, A., Barton, G., Szabó, L. (2017) A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **76** (January), 1291–1300.

Száz, D., Mihályi, D., Farkas, A., Egri, Á., Barta, A., Kriska, G., Robertson, B., Horváth, G. (2016) Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation*. **20**, 663–675.

Talvi, Tiina, Talvi, Tõnu (2012) *Poollooduslikud kooslused. Kaitse ja hooldus*. Viidumäe-Tallinn: Põllumajandusministeerium.

Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., Alkasrawi, M. (2021) Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of the Total Environment*. **759**, 143528.

Taylor, R., Conway, J., Gabb, O., Gillespie, J. (2019) *Potential ecological impacts of ground-mounted photovoltaic solar panels. An introduction and literature review*.

TreeSystem. TreeSystem for ground mounting solar systems. (2022) <http://www.treesystem.it/treesystem-for-ground-mounted-pv-plants> [Vaadatud 17.12.2022].

Trommsdorff, M., Kang, J., Reise, C., Schindele, S., Bopp, G., Ehmann, A., Weselek, A., Högy, P., Obergfell, T. (2021) Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **140**, 110694.

Tsafack, N., Fang, W., Wang, Xingyu, Xie, Y., Wang, Xinpu, Fattorini, S. (2022) Influence of grazing and solar panel installation on tenebrionid beetles (Coleoptera Tenebrionidae) of a central Asian steppe. *Journal of Environmental Management*. **320** (August), 115791.

Turney, D., Fthenakis, V. (2011) Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **15**(6), 3261–3270.

Uldrijan, D., Kováčiková, M., Jakimiuk, A., Vaverková, M.D., Winkler, J. (2021) Ecological effects of preferential vegetation composition developed on sites with photovoltaic power plants. *Ecological Engineering*. **168** (May), 106274.

Vanderlinden, Colleen. (29.12.2010) Best Shade-Tolerant Vegetables. <https://www.motherearthnews.com/organic-gardening/shade-tolerant-vegetables-zm0z11zsto> [Vaadatud 22.11.2022].

Vaverková, M.D., Winkler, J., Uldrijan, D., Ogrodnik, P., Vespalcová, T., Aleksiejuk-Gawron, J., Adamcová, D., Koda, E. (2022) Fire hazard associated with different types of photovoltaic power plants: Effect of vegetation management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **162**(May 2021), 112491.

Visser, E., Perold, V., Ralston-Paton, S., Cardenal, A.C., Ryan, P.G. (2019) Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. *Renewable Energy*. **133**, 1285–1294.

Vo, T.T.E., Ko, H., Huh, J., Park, N. (2021) Overview of possibilities of solar floating photovoltaic systems in the offshore industry. *Energies*. **14**(21), en14216988.

- Walston, L.J., Li, Y., Hartmann, H.M., Macknick, J., Hanson, A., Nootenboom, C., Lonsdorf, E., Hellmann, J. (2021) Modeling the ecosystem services of native vegetation management practices at solar energy facilities in the Midwestern United States. *Ecosystem Services*. **47**(March 2020), 101227.
- Walston, L.J., Mishra, S.K., Hartmann, H.M., Hlohowskyj, I., McCall, J., Macknick, J. (2018) Examining the potential for agricultural benefits from pollinator habitat at solar facilities in the United States. *Environmental Science and Technology*. **52**(13), 7566–7576.
- Walston, L.J., Rollins, K.E., LaGory, K.E., Smith, K.P., Meyers, S.A. (2016) A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. *Renewable Energy*. **92**, 405–414.
- 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**(4), 35.
- Westmill Solar (2021) Westmill Solar Co-Operative Limited. <http://westmillsolar.coop/> [Vaadatud 10.01.2023].
- Willockx, B., Cappelle, J. (2020) Agrivoltaic systems: why not prioritize crops that grow in the dark? A case study with white asparagus. *AgriVoltaics2020*.
- Willockx, B., Herteleer, B., Capelle, J. (2020) Theoretical potential of agrovoltaic systems in Europe: a preliminary study with winter wheat. *47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 0996-1001.
- Wong, P.W., Shimoda, Y., Nonaka, M., Inoue, M., Mizuno, M. (2008) Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modelling and energy saving potential in a residential application. *Renewable Energy*. **33**, 1024–1036.
- Worrall, F., Bell, M.J., Bhogal, A. (2010) Assessing the probability of carbon and greenhouse gas benefit from the management of peat soils. *Science of the Total Environment*. **408**(13), 2657–2666.
- Wu, Y., Geng, S. (2014) Multi-criteria decision making on selection of solar-wind hybrid power station location: A case of China. *Energy Conversion and Management*. **81**, 527–533.
- Yano, A., Kadowaki, M., Furue, A., Tamaki, N., Tanaka, T., Hiraki, E., Kato, Y., Ishizu, F., Noda, S. (2010) Shading and electrical features of a photovoltaic array mounted inside the roof of an east-west oriented greenhouse. *Biosystems Engineering*. **106**(4), 367–377.
- Zaplata, M.K., Dullau, S. (2022) Applying ecological succession theory to birds in solar parks: An approach to address protection and planning. *Land*. **11**(5), 718.
- Zeeshan, Hyder (2022) All about Solar Roadways: the promise versus the reality. SolarReviews. <https://www.solarreviews.com/blog/all-about-solar-roadways> [Vaadatud 18.01.2023].
- Zisis, C., Pechlivani, E.M., Tsimikli, S., Mekeridis, E., Laskarakis, A., Logothetidis, S. (2019) Organic photovoltaics on greenhouse rooftops: Effects on plant growth. *Materials Today: Proceedings*. **21**, 65–72.